



REPÚBLICA DEL ECUADOR

# Escuela Politécnica Nacional

" E S C I E N T I A H O M I N I S S A L U S "

La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL" bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.
- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.
- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

***Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.***

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

### **DISEÑAR Y CONSTRUIR UN PROTOTIPO DE SONÓMETRO DIGITAL CON PONDERACIÓN DE FRECUENCIA A.**

#### **PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**BYRON PATRICIO BENAVIDES MEJIA**

patricio\_benavides@hotmail.es

**DIRECTOR**

**ING. RAMIRO EDUARDO MOREJÓN TOBAR , M.Sc.**

ramiro.morejon@epn.edu.ec

**Quito, noviembre 2018**

## DECLARACIÓN

Yo, Byron Patricio Benavides Mejia, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

Byron Patricio Benavides Mejia

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el señor, Byron Patricio Benavides Mejia bajo mi supervisión.

---

Ing. Ramiro Morejón  
DIRECTOR DEL PROYECTO

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por la vida, la salud y la fortaleza que día a día nos otorga.

A mis abuelitos Laura y Luis Benavides por siempre apoyarme brindarme las fuerzas necesarias para poder seguir adelante.

A mi familia, en especial a mis padres Francia y Byron, por la humildad y los valores inculcados.

A mi hermosa familia Sandy, Pavel y Carolina, por brindarme su apoyo en esos momentos de flaqueza y dura adversidad.

Al Ing. Ramiro Morejón, por confiar en mi capacidad para realizar este proyecto. Le doy gracias a Ud. Ingeniero, por su apoyo, su tiempo y su constante asistencia brindada para que el desarrollo de este proyecto se dé exitosamente.

Al Ingeniero Rody Estrella, por haberme brindado la oportunidad de desarrollar este proyecto de titulación en tan prestigiosa institución como lo es el SADMQ (SECRETARIA DE AMBIENTE DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO) y por haberme apoyado incondicionalmente desde el primer instante.

En general a todos quienes han sido mis maestros, en la primaria, secundaria y pregrado. A mis ex-compañeros y amigos les doy gracias por haberme ayudado de alguna u otra forma durante mi carrera estudiantil.

Byron

## DEDICATORIA

A mis Abuelitos Laura y Luis Benavides

A mis Padres Byron y Francia

Y a mi familia Sandy Tello, Pavel y Caro

Byron

## CONTENIDO

<b>DECLARACIÓN</b> .....	<b>I</b>
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>III</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>IV</b>
<b>CONTENIDO</b> .....	<b>V</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>X</b>
<b>PRESENTACIÓN</b> .....	<b>XI</b>
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
1.1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.2 REDES DE PONDERACIÓN ACÚSTICA .....	1
1.2.1 INTENSIDAD DE SONIDO .....	2
1.2.2 AMPLITUD .....	2
1.2.3 FRECUENCIA .....	3
1.2.4 LONGITUD DE ONDA .....	3
1.2.5 VELOCIDAD DE SONIDO .....	4
1.2.6 PERIODO .....	4
1.2.7 ESPECTRO AUDIBLE .....	4
1.3 DEFINICIÓN DE RUIDO .....	6
1.3.1 EL RUIDO Y SU CLASIFICACIÓN .....	6
1.3.2 TIPOS DE RUIDO .....	7
1.3.2.1 Ruido Blanco .....	7
1.3.2.2 Ruido Rosa .....	7
1.3.2.3 Ruido Continúo .....	7
1.3.2.4 Ruido Intermitente .....	8
1.3.2.5 Ruido Impulsivo .....	8
1.3.2.6 Ruido Estable .....	8
1.3.2.7 Ruido Fluctuante .....	8
1.3.2.8 Ruido de Baja Frecuencia .....	8

1.3.3	MOLESTIAS DEBIDO AL RUIDO.....	9
1.3.4	NIVELES DE RANGO DINÁMICO AUDIBLE.....	9
1.4	UNIDADES DE MEDIDA.....	10
1.4.1	NIVEL DE POTENCIA SONORA (LW, SWL) .....	10
1.4.2	NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA (SPL) .....	11
1.4.3	NIVEL CONTINUO EQUIVALENTE (Leq) .....	12
1.4.4	DECIBELIOS (dB).....	14
1.4.5	NIVEL DE BANDA DE OCTAVA.....	15
1.4.6	NIVEL DE BANDA DE TERCIOS DE OCTAVAS .....	15
1.5	SONÓMETRO .....	17
1.5.1	TIPOS DE SONÓMETRO.....	18
1.5.1.1	SONÓMETROS GENERALES .....	18
1.5.1.2	Sonómetros Integradores Promediadores .....	19
1.5.2	PRINCIPALES PARÁMETROS DE MEDIDA .....	19
1.6	MICRÓFONOS .....	21
1.6.1	PARTES DE UN MICRÓFONO .....	21
1.6.1.1	Diafragma .....	22
1.6.1.2	Dispositivo transductor .....	22
1.6.1.3	Rejilla.....	22
1.6.1.4	Carcasa .....	23
1.6.1.5	Conector de salida.....	23
1.6.2	TIPOS DE MICRÓFONOS .....	24
1.6.2.1	Micrófonos de Carbón. ....	24
1.6.2.2	Piezoeléctricos.....	24
1.6.2.3	Dinámicos.....	24
1.6.2.4	Condensador .....	24
1.6.3	PATRONES DE MICRÓFONOS.....	25
1.6.3.1	Respuesta Direccional.....	26
1.6.3.2	Patrón de Supercardiode.....	26
1.6.3.3	Patrón de Hipercardiode .....	26
1.6.3.4	Patrón Polar Omnidireccional.....	27
1.6.3.5	Patrón Bidireccional.....	27
1.7	NORMATIVA DESCRIPCIÓN Y MEDIDA DE RUIDO AMBIENTAL .....	27



1.7.1	NTE INEN-ISO 3740.....	27
1.7.2	NTE INEN-ISO 3822-1.....	28
1.7.3	NTE INEN-ISO 11690-1.....	28
1.7.4	IEC 61672.....	28
1.7.5	IEC 60942.....	29
1.7.6	IEC 61260.....	29
<b>CAPÍTULO 2</b>	.....	<b>30</b>
2.1	PONDERACIÓN DE FRECUENCIA .....	30
2.1.1	PONDERACIÓN TEMPORAL.....	30
2.1.2	CURVAS DE IGUAL SONORIDAD.....	31
2.1.2.1	Curva de Fletcher –Munson.....	31
2.1.2.2	Curvas de Robison-Dadson.....	33
2.1.3	ESTÁNDAR INTERNACIONAL ISO 226 .....	34
2.2	ORIGEN DE LA PONDERACIÓN DE FRECUENCIA A .....	35
2.3	PONDERACIÓN DE FRECUENCIA B.....	37
2.4	PONDERACIÓN DE FRECUENCIA C.....	37
2.5	PONDERACIÓN DE FRECUENCIA D.....	38
2.6	FOURIER.....	38
2.6.1	SERIE DE FOURIER DE UNA SEÑAL PERIÓDICA.....	39
2.6.2	TRANSFORMADA DIRECTA DE FOURIER.....	41
2.6.3	TRANSFORMADA INVERSA DE FOURIER.....	41
2.7	GESTIÓN SOBRE EL RUIDO AMBIENTAL EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, ECUADOR.....	42
2.7.1	Marco regulatorio.....	42
2.7.2	Control y monitoreo.....	43
<b>CAPITULO 3</b>	.....	<b>45</b>
3.1	STM32 .....	45
3.1.1	Requisitos de hardware.....	45
3.1.2	Requisitos de software.....	45
3.1.3	Características del Microcontrolador.....	46
3.1.4	Periféricos y soportes .....	47
3.1.5	VENTAJAS .....	47
3.2	SENSOR DE SONIDO KY-038.....	47

3.3	MODULO FC-109 SENSOR DE SONIDO MICRÓFONO MAX9812 .....	48
3.3.1	MICRÓFONO DE CONDENSADOR OMNIDIRECCIONAL	
	ELECTRET CZN-15E .....	49
3.3.2	MAX9812 .....	50
3.4	MODULO USB TTL CP2102.....	51
3.5	BLUETOOTH HC-05.....	52
3.5.1	CONFIGURACIÓN DEL MODULO BLUETOOTH.....	53
3.5.2	ESTADOS DEL MODULO BLUETOOTH HC-05.....	54
3.5.2.1	Estado Desconectado.....	54
3.5.2.2	Estado Conectado o de comunicación. ....	54
3.5.2.3	Modo AT 1 .....	54
3.5.3	CARACTERÍSTICAS DEL MODULO BLUETOOTH.....	54
3.6	RELOJ EN TIEMPO REAL RTC DS1307/DS3231 .....	55
3.6.1	DS1307 .....	56
3.6.2	Características generales del RTC .....	57
3.7	MATLAB.....	57
3.7.1	SIMULACIÓN DE SISTEMAS CON SIMULINK EN MATLAB .....	58
3.7.1.1	Simulink .....	58
3.7.2	LIBRERÍA DE PROGRAMACIÓN EN MATLAB WAIJUNG	
	BLOCKSET .....	58
3.8	ANDROID STUDIO .....	59
3.8.1	Características del sistema operativo Android.....	60
3.8.2	Estructura de un proyecto Android.....	61
3.8.3	Breve descripción de las versiones de Android .....	61
<b>CAPÍTULO 4</b>	.....	<b>63</b>
4.1	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE SONÓMETRO	
	EN LA TARJETA STM32 .....	65
4.1.1	ADQUISICIÓN DE DATOS POR MEDIO DEL REGULADOR ADC.	
	66	
4.1.2	GANANCIA Y DELAY .....	67
4.1.3	MUESTREO DE LA SEÑAL.....	68
4.1.4	REGRESIÓN MATEMÁTICA Y AJUSTE DE PROTOTIPO .....	71
4.1.5	TRANSMISIÓN DE DATOS.....	73

4.1.6	ALMACENAMIENTO DE LA SEÑAL .....	74
4.1.6.1	Código de bloque data logger .....	75
4.1.6.2	Configuración del reloj del tiempo real (RTC).....	76
4.1.7	Calibración del Reloj en Tiempo Real.....	78
4.1.7.1	Verificación y Visualización del Reloj en Tiempo Reloj.....	81
4.2	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN ANDROID.....	82
4.2.1	ANDROID MANIFEST .....	82
4.2.2	DISEÑO DE GRÁFICA EN ANDROID .....	84
4.2.2.1	Características de las Gráficas .....	84
4.2.3	COMUNICACIÓN POR BLUETOOTH.....	85
4.2.4	Creación de la Pantalla de Inicio en Android Studio .....	86
4.3	PRESUPUESTO REFERENCIAL DEL PROTOTIPO .....	89
4.4	DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE SONÓMETROS COMERCIALES .....	90
4.4.1	SONÓMETRO DT-85A .....	90
4.4.2	SONÓMETRO EXTECH INSTRUMENTS MODELO 407730.....	91
4.4.3	SONÓMETRO QUEST SOUND PRO SE/DL .....	93
4.5	PRUEBAS COMPARATIVAS DEL PROTOTIPO Y LOS SONÓMETROS COMERCIALES. ....	94
4.5.1	PRUEBA 1 .....	94
4.5.2	PRUEBA 2 .....	96
4.5.3	PRUEBA 3 .....	102
<b>CAPÍTULO 5</b>	.....	<b>105</b>
5.1	CONCLUSIONES .....	105
5.2	RECOMENDACIONES .....	107

## RESUMEN

El presente trabajo tiene por objetivo desarrollar un prototipo que permita medir el nivel de presión sonora en decibelios (dB) en un punto específico utilizando ponderación de frecuencia A. Para mostrar una visión global al lector, a continuación, se detalla el contenido de los cinco capítulos de la presente tesis de grado.

En el capítulo 1, se describe la introducción de sistemas para cuantificar el nivel de presión sonora en el ambiente, así como características generales, propiedades y cualidades del sonido, se describirán las partes que conforman un micrófono como también las normas internacionales con respecto a la medición de ruido.

En el capítulo 2, se realiza una descripción muy detallada de las curvas isofónicas, así como las normas que existen a nivel internacional las cuales están relacionadas con cada una de las ponderaciones de frecuencias que existen en la actualidad, además se describe la gestión sobre el ruido ambiental en el Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador.

En el capítulo 3, se realiza una descripción de los elementos y módulos que se utilizarán para la implementación del prototipo, además también se describe los entornos de programación que se utilizan para desarrollar el presente proyecto.

En el capítulo 4, se describe el diseño e implementación del prototipo tanto a nivel de software como hardware además se describe y analiza el resultado de las pruebas realizadas, las cuales permiten definir la funcionalidad del prototipo.

En el capítulo 5, contiene las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el desarrollo del proyecto.

## PRESENTACIÓN

El presente Proyecto de Titulación enfatiza el diseño de software e implementación de hardware para ponderar los diferentes niveles de ruido utilizando componentes programables, como es el caso de las tarjetas stm32.

El prototipo presenta una gran versatilidad a la hora de cuantificar los diferentes niveles de ruido, porque además de tomar muestras de ruidos se lo puedo calibrar con otros dispositivos más finos, en el caso de instrumentos de laboratorios, para que de esta manera sus mediciones sean las precisas.

El principal objetivo del trabajo realizado es el diseño e implementación de un dispositivo que sea capaz de cuantificar la cantidad de ruido con ponderación de frecuencia A, ya que ésta por norma internacional es la más utilizada, de esta forma el dispositivo que se implementó se convierte en el primero al realizarlo con una tarjeta stm32 en el país, llegando a ser un gran aporte para la tecnología de nuestra nación ya que a futuro se podrá diseñar una red que pueda cuantificar el ruido en puntos específicos.

# CAPÍTULO 1

## 1.1 INTRODUCCIÓN

Uno de los sentidos más importantes e indispensable de los seres vivos es el oído o la audición, ya que es primordial en el diario vivir y que gracias a él, es posible la comunicación e interacción entre los seres humanos, como además de alertar ante un inminente peligro o poder evocar agradables sensaciones, pero además de sonidos agradables también existe el ruido el cual en muchas ocasiones puede provocar malestar e incluso hasta enfermedades crónicas al estar expuesto por un periodo largo de tiempo a este tipo de fenómeno acústico.

Cuando el nivel de ruido o también denominada presión sonora supera el rango normal permitido puede producir molestias físicas y psicológicas, esta última podría influir de forma directa en la salud del ser humano. En las grandes ciudades por lo general, la contaminación acústica es un fenómeno que va en aumento y existen un número elevado de fuentes de sonido dentro de los hogares de los ciudadanos, por ejemplo, los electrodomésticos, aparatos electrónicos y además la actividad humana dentro de los hogares, pero la mayor cantidad de perturbación acústica que se puede obtener viene del exterior del ambiente [1].

En estas últimas décadas se ha enfatizado la importancia a nivel mundial acerca de la temática de contaminación sonora y el gran impacto que tiene en la vida del ser humano.

## 1.2 REDES DE PONDERACIÓN ACÚSTICA

Al existir diferentes formas de poder captar y cuantificar las señales acústicas, aparecen dos tipos de ponderaciones, las cuales pueden ser temporales o de frecuencia, las señales de audio que se recolectan se procesan por medio de un dispositivo llamado sonómetro o a su vez por otro dispositivo denominado dosímetro acústico, este tipo de información se presenta en dichos dispositivos que permiten visualizar la información por medio de una pantalla LCD.

### 1.2.1 INTENSIDAD DE SONIDO

La intensidad del sonido percibido, o propiedad que hace que éste capte dicha señal como fuerte o débil, está relacionada con la intensidad de la onda sonora correspondiente, también denominada intensidad acústica. La intensidad acústica muestra una cantidad escalar de cuanta energía fluye por el medio por efecto de la circulación de dicha onda. Esta magnitud da la sensación sonora que depende de la intensidad acústica, pero además también está relacionada con la sensibilidad del oído. El intervalo de intensidades acústicas que va desde el umbral de audibilidad, o valor mínimo perceptible, hasta el umbral del dolor [1].

### 1.2.2 AMPLITUD

Es la cantidad de presión sonora que ejerce vibración en un medio elástico, para el caso de estudio del sonido este medio es el aire, algo importante de rescatar que la amplitud determina la cantidad de energía que contiene una señal sonora, muchas veces se confunde la amplitud con el volumen o potencia acústica, no hay que caer en este tipo de error, aunque lo que sí es real que cuando un sonido tiene una amplitud mayor es consecuencia de un sonido fuerte, ya que este ejerce una presión muy alta en el medio.

Matemáticamente la amplitud es el valor máximo, tanto positivo como negativo que puede llegar a adquirir la onda, en la figura 1.1 se muestra un ejemplo de una onda senoidal de amplitud de 100 voltios positivo con respecto al eje de las ordenadas positivas y de menos 100 voltios con respecto al eje de las ordenadas negativas.

El valor máximo que toma la amplitud de una señal acústica se la denomina pico o cresta, el valor negativo máximo toma el nombre de vientre o valle y donde la onda se anula se lo conoce como “nodo” “cero” o “punto de equilibrio” [2]. La noción de amplitud puede emplearse para nombrar al alargamiento, la distensión o el ensanchamiento de algo. Se llama onda, por otra parte, al movimiento de propagación que realiza un fluido, a las elevaciones formadas por la perturbación de la superficie de una sustancia líquida y a la manera de propagación que tienen los campos magnéticos y eléctricos en el espacio.

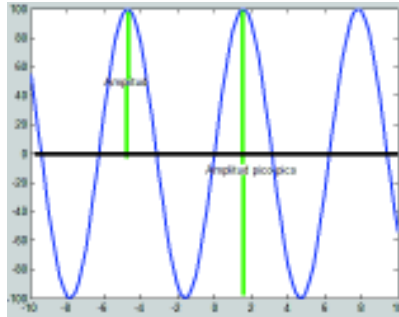


Figura 1.1 Onda senoidal

### 1.2.3 FRECUENCIA

En forma general la frecuencia es la repetición de un hecho o suceso en un intervalo de tiempo, para ser más preciso en un segundo, por lo tanto, si tiene más ondas en un mismo intervalo de tiempo, se tendrá un sonido de mayor frecuencia o como se lo conoce un sonido agudo, por otra parte, los sonidos o tonos más graves corresponderían a frecuencias menores. La frecuencia por lo general se mide en hercios (Hz) según el Sistema Internacional en honor al físico alemán Heinrich Rudolf Hertz<sup>1</sup>, a este hecho se lo asocia también como un suceso repetido una vez por segundo o CPS<sup>2</sup>, a continuación, se muestra este concepto físico en la ecuación 1.1.

$$1\text{Hz} = \frac{1}{\text{s}} \quad (1.1)$$

### 1.2.4 LONGITUD DE ONDA

Al recorrer una determinada distancia en un intervalo de tiempo específico, se lo define como longitud de onda, para poder identificar dicha medición se le asignó la letra griega “λ” (lambda), cuando una longitud de onda es larga le corresponde a una frecuencia baja, por otro lado, cuando ésta es corta corresponde a una frecuencia alta. Normalmente el intervalo de audición de los seres humanos oscila entre los 2 centímetros (una pulgada aproximadamente), hasta los 17 metros [3]. En la ecuación 1.2 muestra la relación matemática entre la velocidad de la luz y la

<sup>1</sup> **Heinrich Rudolf Hertz:** Fue un físico alemán que descubrió el efecto fotoeléctrico, la propagación de las ondas electromagnéticas y las formas para producirlas y detectarlas.

<sup>2</sup> **CPS:** Es una unidad de medida la cual se la denomina ciclos por segundo.



frecuencia donde, "c " es la velocidad de la luz<sup>3</sup> que según el Sistema Internacional de Medidas se expresa en metros sobre segundos al cuadrado y "f " es la frecuencia en hercios, con esta relación de unidades se obtiene la longitud de onda que se expresa en metros normalmente.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1.2)$$

### 1.2.5 VELOCIDAD DE SONIDO

La dinámica de propagación de las ondas acústicas se la denomina velocidad de sonido, para que exista el sonido debe haber un medio donde este se propague y va a depender de las características del medio de propagación como temperatura, humedad, densidad y elasticidad, por ejemplo, en la atmosfera terrestre la velocidad del sonido es 343,2 m/s (a 20° C de temperatura, con 50% de humedad y a nivel de mar). Por lo tanto, podemos concluir que en un medio de propagación más densa y menos elástica que el aire, por ejemplo, el acero, la velocidad de propagación sería mucho más alta [4].

### 1.2.6 PERIODO

En términos de ondas de propagación es el tiempo donde comienza y termina una onda, o también se lo puede definir matemáticamente hablando como el inverso de la frecuencia como indica la ecuación 1.3.

$$T = \frac{c}{f} \quad (1.3)$$

### 1.2.7 ESPECTRO AUDIBLE

Para el espectro audible se considera como un estándar al rango de frecuencias que se encuentre entre 20Hz a 20kHz, aquellos sonidos cuya frecuencia se

---

<sup>3</sup> **Velocidad de la luz:** En el vacío es por definición una constante universal de valor 299 .792. 458 m/s (suele aproximarse a 3.10<sup>8</sup> m/s )

encuentran por debajo de los 20Hz se los denominan infrasonidos o subsónicos y aquellos que están por encima de 20kHz se los llaman ultrasónicos. Para cada individuo el espectro audible es diferente, ya que este cambia con la edad, además de otros factores tales como salud o el haber trabajado por años en ambientes ruidosos. Las frecuencias las podemos clasificar según su valor o tonalidades, de esta manera podemos distinguir los tonos graves o bajos, medios y agudos o altos. Por ejemplo, de 20 a 300Hz se tiene tonos graves, de 300 a 2000Hz los tonos intermedio o medios y los agudos de 2000 hasta los 20000Hz.

El espectro audible está dividido en octavas, como dato adicional tanto la primera como la última octava son prácticamente inaudibles, a continuación, se muestra en la tabla 1.1 las octavas con sus respectivos rangos de frecuencias.

A pesar de tener el mismo tono y la misma potencia, dos sonidos no tienen por qué ser iguales. La diferencia está en el timbre, por ejemplo, una misma nota musical dada por dos instrumentos diferentes, o las voces de dos personas, esto se debe a que los sonidos se componen de ondas superpuestas a una frecuencia básica fundamental, son los llamados armónicos<sup>4</sup>, cuya frecuencia es múltiplo de la onda fundamental [5].

1ª Octava	16 Hz- 32Hz	7ª Octava	1000Hz-2000Hz
2ª Octava	32Hz- 64Hz	8ª Octava	2000Hz-4000Hz
3ª Octava	64Hz-125Hz	9ª Octava	4000Hz-8000Hz
4ª Octava	125Hz-250Hz	10ª Octava	8000Hz-16000Hz
5ª Octava	250Hz-500Hz	11ª Octava	16000Hz-32000Hz
6ª Octava	500Hz-1000Hz		

**Tabla 1.1** Numeración de octavas y rango de frecuencia.

---

<sup>4</sup> **Armónicos:** En el campo de la acústica y telecomunicaciones, un armónico de una onda es una componente sinusoidal de una señal, mientras que en los sistemas eléctricos de corriente alterna los armónicos son frecuencias múltiplos de la frecuencia fundamental de trabajo del sistema y cuya amplitud va decreciendo conforme aumenta el múltiplo.

### 1.3 DEFINICIÓN DE RUIDO

El ruido está constituido por señales indeseables que se introducen a lo largo del trayecto de una transmisión, de manera que se lo considera como una señal fortuita y totalmente impredecible, en teoría de la información al ruido se lo denomina como una señal que no contiene información, cabe recalcar que los sonidos no deseados también se los denomina como ruido, ya que está sujeto a percepción lo que para algunas personas puede ser sonidos placenteros, para otros puede ser algo totalmente fastidioso [6].

El ruido causa grandes problemas de audición al ser humano estos pueden ser daños temporales o permanentes, todo depende de cuánto tiempo el individuo está expuesto al ruido y con qué intensidad, generalmente en ambientes de alto nivel de ruido se utilizan implementos de seguridad industrial exclusivamente para este tipo de ambientes.

#### 1.3.1 EL RUIDO Y SU CLASIFICACIÓN

Al ruido se lo podrá clasificar de diferentes maneras, por ejemplo, en función del nivel de presión sonora (*SPL*) tenemos cuatros niveles que se describirán a continuación.

1. Nivel de intensidad elevado, en este nivel se llega a perder la audición, este caso es cuando el ruido excede los 90 fonios.
2. Nivel de intensidad intermedia, esta clase de ruidos son soportables, pero en largos periodos de tiempo se tornan molestos, este nivel se encuentra entre 40 y 90 fonios.
3. Nivel de intensidad bajo, este no produce ninguna molestia física y son totalmente soportables, aunque para algunos individuos pueden causar alguna molestia auditiva.
4. Nivel cero absolutos, este nivel es totalmente teórico e ideal.

### **1.3.2 TIPOS DE RUIDO [7]**

Existe una gran variedad de ruido a nuestro alrededor de diferentes clases y tipos, pero se describirá a continuación las clases de ruidos relacionados directamente con la acústica.

#### **1.3.2.1 Ruido Blanco**

Esta clase de ruido tiene una característica en particular, ya que es la mezcla de absolutamente todos los ruidos, se los describe también como una señal de sonido que contiene todas las frecuencias y posee la misma potencia, como ejemplos de esta clase de ruido tenemos, el sonido del televisor o la radio sin sintonizar o de igual manera el ruido constante de un aparato de aire acondicionado.

#### **1.3.2.2 Ruido Rosa**

Es importante de considerar que un ruido rosa no es muy diferente del ruido blanco, ya que estos están contenidos en todo el rango de frecuencias audibles para los seres humanos, este va desde los 20 hertzios hasta los 20.000 hertzios, una de las diferencia entre el ruido blanco y el rosa es que el primero, posee la misma potencia por Hertz a lo largo de todas las frecuencias, mientras que el ruido rosa la potencia disminuye por Hertz a medida que aumenta la frecuencia, como consecuencia las frecuencias inferiores en el ruido rosa son más fuertes y poseen mayor potencia en aquellas frecuencias que son altas.

Al disminuir 3dB en la presión sonora al ruido rosa se lo utiliza frecuentemente en las medidas de aislamiento y laboratorios [7].

#### **1.3.2.3 Ruido Continúo**

El ruido continuo posee una característica particular, ya que el nivel de presión sonora cuando se lo mide en banda de octavas no fluctúa a lo largo del tiempo, generalmente se produce por maquinaria que opera continuamente en el transcurso del tiempo, por ejemplo, compresores, máquinas industriales o lavadoras y secadoras de ropas.

#### **1.3.2.4 Ruido Intermitente**

Es muy parecido al ruido constante, pero varía en intervalos de tiempos, por ejemplo, cuando se tienen máquinas como, hidrolavadoras de automóviles o se encienden aspiradores industriales el ruido aumenta y disminuye rápidamente.

#### **1.3.2.5 Ruido Impulsivo**

El ruido impulsivo como su nombre lo caracteriza es generado por impactos o explosiones de muy corta duración de tiempo, pero causan una mayor molestia al individuo por estar dentro de este tipo de ambientes, para poder medir el impulso que genera el ruido se utilizan parámetros de medición de respuesta rápida y otro con respuesta lenta.

#### **1.3.2.6 Ruido Estable**

Cuando existen variaciones de nivel de presión sonora iguales o inferiores a 5 decibelios con respecto a la ponderación de frecuencia A con respuesta lenta, durante un periodo de observación de 1 min. Se entenderá que un ruido es de tipo estable cuando la diferencia entre el  $NPS_{max}$  y el  $NPS_{min}$  obtenidos durante una medición de un minuto, es menor o igual a 5 dB(A).

#### **1.3.2.7 Ruido Fluctuante**

Es aquel ruido que presenta fluctuaciones del nivel de presión sonora superiores a 5 dB(A) con respuesta lenta, durante el periodo de observación de un 1 minuto. Se entenderá que un ruido de tipo fluctuante es cuando la diferencia entre el nivel de presión sonora máximo ( $NPS_{max}$ ) y el nivel de presión sonora mínimo ( $NPS_{min}$ ) obtenidos durante una medición de un minuto, es mayor o igual a 5 dB(A).

#### **1.3.2.8 Ruido de Baja Frecuencia**

En el rango de frecuencias de 8 a 100 Hz este ruido posee una energía acústica muy representativa, éste se encuentre comúnmente en los trenes con motores de

diésel, barcos y plantas de energías, cabe mencionar que este ruido es muy difícil de mitigar ya que se puede esparcir por cualquier dirección además puede ser escuchado a varios kilómetros de distancia.

### 1.3.3 MOLESTIAS DEBIDO AL RUIDO

Como ya lo hemos analizado el ruido además de tener una componente física incluye una componente subjetiva la cuál es la molestia que causa. En muchas ocasiones estas molestias son muy evidentes por que causan daño a la salud [8]. Para poder medir esta componente subjetiva de ruido se tendría gran complejidad en su evaluación, aunque no por ella entra en conflicto con el análisis científico si se tienen en cuenta los factores que influyen en ella y se cuantifica usando determinados índices de medida, los cuales se describirán a continuación.

- **Energía sonora:** Es la energía que posee un sonido, cuanta más energía posee, este provocará más molestias. Podemos cuantificar la cantidad de energía con el nivel de presión sonora (NPS).
- **Periodo de exposición:** Se refiere básicamente a la cantidad de tiempo que estamos expuestos a niveles de ruido muy alto (a mayor duración, mayores molestias).
- **Características del sonido:** Se determina por las características físicas del sonido, tales como espectro de frecuencia, amplitud, período, intensidad etc.
- **Sensibilidad individual:** Se determina al tener un mismo nivel de ruido para diferentes personas que sienten diferentes grados de molestias, influidos por diferentes factores, tales como físicos, culturales, sociales etc.
- **Actividad en receptor.** Se refiere básicamente a las diferentes actividades que personas se desenvuelven diariamente y están expuestas a diferentes niveles de ruido.

### 1.3.4 NIVELES DE RANGO DINÁMICO AUDIBLE

Para la medición de ruido existe un rango dinámico audible el cual, es de suma importancia de conocer ya que en los instrumentos de medición se podrá visualizar

un abanico amplio de decibelios, sobrepasar el límite estipulado de ruido causa daño a la salud del ser humano, el rango dinámico audible se encuentra entre los 30 decibelios a 90 decibelios y se lo ha dividido en tres partes [9].

- Rango 1, son niveles sonoros inferiores a 60dB no causan daño a la salud del ser humano.
- Rango 2, niveles sonoros comprendidos entre 60dB y 90dB es un rango de ruido relativamente normal y está sujeto a total percepción.
- Rango 3, niveles sonoros superiores a 90dB, en este rango el nivel de presión acústica es insoportable y muy dañino para la salud.

## 1.4 UNIDADES DE MEDIDA

En las unidades de medidas acústicas existen dos parámetros muy importantes que tienden comúnmente a ser confundidos, los cuales son el nivel de potencia sonora y nivel de presión sonora, la unidad de medida que comparten ambos es el decibelio, para poder diferenciar estos parámetros a continuación se explica detalladamente cada uno de ellos [10].

### 1.4.1 NIVEL DE POTENCIA SONORA (LW, SWL) [10]

El nivel de potencia sonora es totalmente independiente de la distancia, ya que éste es emitida por la fuente de sonido, el valor absoluto de esta potencia sonora no se ve afectada por el entorno, en la figura 1.2 se muestra un ejemplo de este fenómeno, para entender de una manera más sencilla a este tipo de medición se hace una analogía con una bombilla de luz que irradia energía en todas las direcciones, al calcular la energía que es difundida en todas las direcciones, a esto se lo denomina potencia sonora.



Figura 1.2 Nivel de potencia sonora [10]

En la tabla 1.2 se muestran algunos ejemplos de nivel de potencia sonora.

Niveles de presión sonora dB		@ m
Conversación normal	60	1
Tráfico de autopista	70	15
Camión diesel	90	10
Tren de mercancías	100	60
Despegue de avión	110	300
Bocina	120	1
Remachadora neumática	130	1
Despegue de avión	140	30
Fuego de artillería	150	150
Fuegos artificiales	160	1
Despegue de avión	180	0.3

**Tabla 1.2** Ejemplo de niveles de potencia sonora

#### 1.4.2 NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA (SPL)

El nivel de presión acústica permite medir las variaciones de presión acústica en un determinado punto, en el caso de la audición humana se pueden cuantificar estas variaciones en magnitudes de  $20\mu\text{Pa}$  a  $20\text{Pa}$ .

Al ser un tipo de perturbación debido a la presión atmosférica, la intensidad está directamente influenciada por la fuerza de la fuente y además por el entorno entre el transmisor y el receptor. Una manera fácil de entender que es el nivel de presión acústica es por ejemplo cuando el oído humano escucha los diferentes niveles de sonido circundante en el ambiente y puede discriminar entre los sonidos bajos, medios y altos todo este proceso lo realiza el oído humano de una manera compleja a nivel físico y sensorial mientras que los instrumentos de medida tratan de hacerlo de una manera más fácil para poder cuantificar y poder ponderar la cantidad de presión acústica [10].

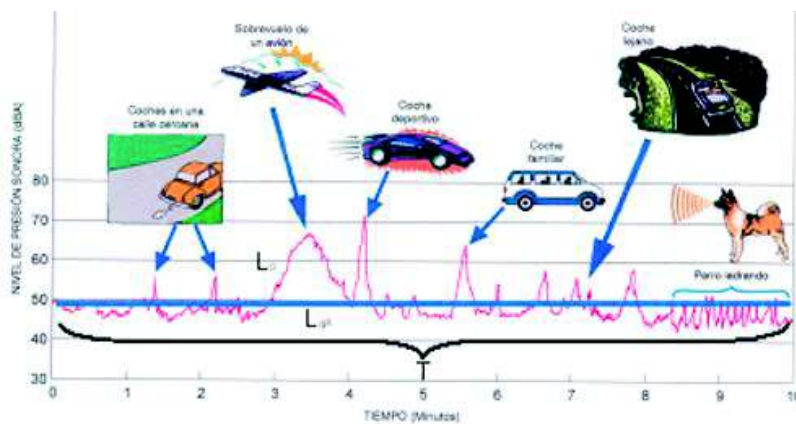
Al tener en cuenta factores como la distancia entre el transmisor y receptor o de qué color son las paredes donde se irradia la señal de audio, además también de las características reflexivas de los objetos que afectan la cantidad de luz que llega al receptor a esto se lo denominará nivel de presión sonora. Para los diferentes tipos de mediciones acústicas no es muy común tener magnitudes en Pascales ya que es incómodo tratar de interpretar cantidades de medidas acústicas con este tipo de unidad, por lo tanto, por norma internacional se define como unidad de medición acústica el decibelio (dB).



### 1.4.3 NIVEL CONTINUO EQUIVALENTE ( $L_{eq}$ )

El  $L_{eq}$  no es más que el promedio de medición en un determinado intervalo de tiempo, esto se realiza básicamente para poder obtener un media de dichas muestras, ya que el valor de cada una de éstas en todo el intervalo de tiempo cambia por diferentes clases de factores, desde atmosféricos como hasta tal punto, que tan solo el hecho de que el observador esté presente en el momento de realizar las medidas puede afectar el ambiente de experimentación y se obtendrá diferentes valores de medición [11].

Para poder tener una definición concreta del nivel sonoro continuo equivalente por sus siglas en inglés  $L_{eq}$ , se lo define como la medida energética del nivel de ruido promediado en un intervalo de tiempo de dicha medida. Puede considerarse como un nivel de sonido constante en un determinado intervalo de tiempo  $T$ , a continuación, en la figura 1.3 se muestra en un intervalo de tiempo dado las mediciones puntuales de ruido de algunos objetos y en la ecuación 1.4 se puede observar cómo se lo puede promediar matemáticamente a cada uno de estos sonidos en uno solo [11].



**Figura 1.3** Niveles instantáneos y continuos equivalentes [11]

En la ponderación de frecuencia A se utiliza la nomenclatura de  $L_{Aeq,T}$ , este tipo de medición no tendría ningún sentido si no se lo realiza en un determinado periodo de tiempo ( $T$ ) y con el valor cuadrático medio de la presión sonora, en la ecuación 1.4 se puede observar cómo se realiza este cálculo.

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{P^2(t)}{P_0^2} \right) dt \right] \quad (1.4)$$

Donde

$T$ : Tiempo de integración

$P_0$ : Presión sonora de referencia  $2 \times 10^{-5}$  [Pascales<sup>5</sup>]

$P(t)$ : Presión sonora instantánea

Muchos equipos proporcionan el  $L_{Aeq}$  para un cierto intervalo de tiempo  $\Delta t_i$ . Si se quiere determinar el  $L_{Aeq}$  correspondiente a un tiempo  $T$  formado por un conjunto de intervalos,  $\Delta t_i$ , se toma en cuenta la ecuación 1.5 que se muestra a continuación.

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \frac{1}{T} \sum_{i=1}^N \Delta t_i 10^{\frac{L_{Aeq,\Delta t_i}}{10}} \quad (1.5)$$

Donde  $N$  es el número total de intervalos en los que se divide el tiempo  $T$  y  $L_{Aeq,\Delta t_i}$  es el nivel continuo equivalente ponderado  $A$  en el intervalo  $i$ -ésimo.

Es importante recalcar que existen otros tipos de forma para cuantificar el sonido las cuales se explicarán a continuación.

- **Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente ( $NPS_{eq}$ ):** Se refiere básicamente a la forma de medir la señal de ruido dentro de un intervalo de tiempo el nivel de presión sonora existente. [12]
- **Nivel de Presión Sonora Mínimo ( $NPS_{min}$ ):** Es el mínimo nivel de presión sonora registrado durante un periodo de medición dado.
- **Nivel de Presión Sonora Máximo ( $NPS_{max}$ ):** Es el máximo nivel de presión sonora registrado durante un periodo de medición dado

---

<sup>5</sup> **Pascales:** Se define como la presión que ejerce una fuerza de 1 newton sobre una superficie de 1 metro cuadrado normal a la misma, esta unidad fue nombrada en homenaje a Blaise Pascal, eminente matemático, físico y filósofo francés.

#### 1.4.4 DECIBELIOS (dB)

Los decibelios (dB) son valores de amplitud o potencia relativa expresada en una suma de escala de los logaritmos, además se contará con un rango mucho más definido y claro para la comparación de resultados que se obtendrán en el presente proyecto. La forma de pasar magnitudes de Pascales a decibelio se muestra en la ecuación 1.6, donde PL es el valor en decibelios de la relación de potencias. El rango de medición (rango dinámico) del oído humano se extiende desde 0dB a unos 120 dB.

$$PL = 20 \log_{10} \frac{P}{P_{ref}} [dB] \quad (1.6)$$

El estudio del sonido se lo realiza en diferentes intensidades y a diferentes frecuencias y amplitudes. A continuación, se mostrará en la figura 1.5 el rango de intensidad en decibelios de algunos parámetros comunes en nuestro entorno de vida.

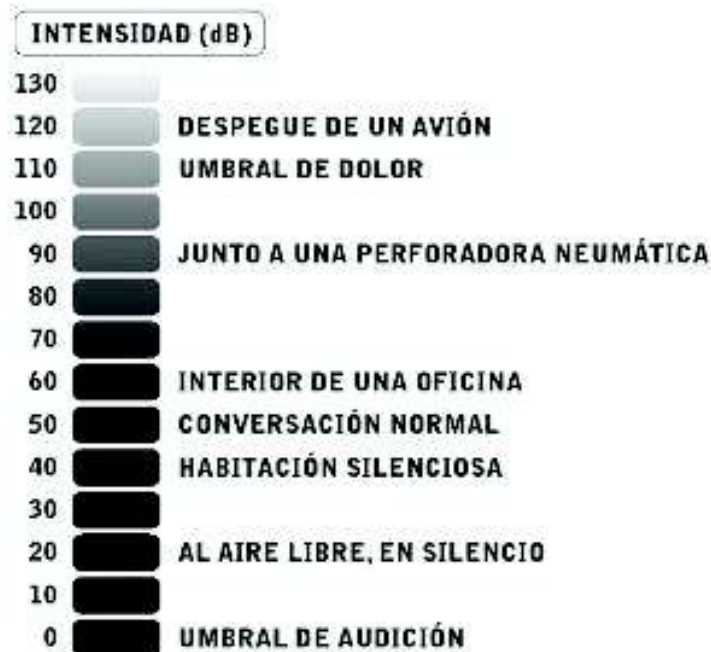


Figura 1.4 Distintos valores de SPL de presión sonora [12]

### 1.4.5 NIVEL DE BANDA DE OCTAVA

El rango de frecuencia audible va desde los 20Hz hasta los 20.000Hz. El espectro de frecuencias audible se lo divide típicamente en 10 bandas u octavas inclusive si el estudio lo amerita se pueden subdividir en mayor número de bandas menores o tercios de octavas, en la tabla 1.3 se muestra el rango de las octavas [13].

Numero de banda	Octavas (Hz)
1	16
2	31.5
3	63
4	125
5	250
6	500
7	1000
8	2000
9	4000
10	8000
11	16000

**Tabla 1.3** Espectro audible dividido en 11 bandas u octavas

### 1.4.6 NIVEL DE BANDA DE TERCIOS DE OCTAVAS

Como se lo mencionó en la división de las bandas de octavas también tenemos otra división que es muy conocida como tercios de octavas la cuales son muy utilizadas por cada una de las ponderaciones frecuenciales y además sirven para poder graficar la curva de cada una de ellas.

En la tabla 1.4 se muestra el espectro audible dividido en tercios de octavas que se inicia desde 10 hercios hasta los 20000 hercios, es muy importante conocer este rango de frecuencias ya que a la hora de procesar señales por medio de herramientas matemáticas se presenta este fenómeno conocido también como armónicos.

Banda de tercio de octava (Hz)		
10	200	1250
12.5	250	1600
16	315	2000
20	400	2500
25	500	3150
31.5	630	4000
40	800	5000
50	1000	6380
63	1250	8000
80	500	1000
100	630	12500
125	800	16000
160	1000	20000

**Tabla 1.4** Espectro audible dividido en tercios de octavas.

En el rango de frecuencias, las octavas como tercios de octavas poseen una frecuencia superior como una inferior, a continuación, se calcularán estas frecuencias tomando como dato la frecuencia central de 500 Hz, y se procederá a calcular tanto la frecuencia  $f_1$ , la cual se la denomina frecuencia inferior y la frecuencia  $f_2$  que se la denomina frecuencia superior. A continuación, se trabajará con la ecuación 1.8 para poder obtener una de las frecuencias conociendo la frecuencia central.

$$F_c = \sqrt{f_1 * f_2} \quad (1.8)$$

$$f_2 = 2f_1 \quad (1.9)$$

Se conoce que la ecuación 1.8 es válida tanto para el caso de octavas y tercios de octavas y la ecuación 1.9 es válida solo para el caso de octavas, a continuación, se realizará el procedimiento para buscar las frecuencias superiores e inferiores de la banda de frecuencia.

$$F_c = \sqrt{f_1 * f_2}$$

$$500 = \sqrt{f_1 * f_2}$$

$$500^2 = f_1 * f_2$$

$$500^2 = f_1 * 2f_1$$

$$500^2 = 2f_1^2$$

$$f_1 = \sqrt{\frac{500^2}{2}}$$

$$f_1 = 353.55 \text{ Hz}$$

$$f_2 = 707.10 \text{ Hz}$$

Posteriormente se calculará las frecuencias tanto superior e inferior en un tercio de octava para esto se utilizará la ecuación 1.9 y volveremos a utilizar la ecuación 1.8.

$$f_2 = 2^{\frac{1}{3}}f_1 \quad (1.9)$$

Se realizará el mismo procedimiento manteniendo la misma frecuencia central  $F_c$ .

$$F_c = \sqrt{f_1 * f_2}$$

$$500^2 = f_1 * f_2$$

$$500^2 = f_1 * 2^{\frac{1}{3}}f_1$$

$$500^2 = 2f_1^2$$

$$f_1 = \sqrt{\frac{500^2}{2^{\frac{1}{3}}}}$$

Los valores obtenidos tanto de  $f_1$  como de  $f_2$  es la frecuencia inferior como la superior respectivamente, dado como dato inicial la frecuencia central.

$$f_1 = 455.45 \text{ Hz}$$

$$f_2 = 561.23 \text{ Hz}$$

## 1.5 SONÓMETRO

Es un instrumento electrónico de medida que nos permite saber, el nivel de presión sonora en un punto determinado ya sea en un instante como en un intervalo de tiempo. El sonómetro está básicamente compuesto por un micrófono o transductor en la parte de entrada, luego por unos circuitos amplificadores y

acondicionadores de la señal y al final por un visualizador o indicador, que mostrará los datos ya previamente procesados digitalmente, actualmente estos dispositivos nos ofrecen más precisión que los equipos de hace décadas atrás, cabe recalcar que en el mercado nos ofrecen desde equipos básicos hasta la gama de equipos muy complejos y todos estos disponen de controles para ajustar el funcionamiento del mismo, la parte más delicada de estos dispositivos de medición generalmente es su micrófono.

La parte central del sistema que conforma el sonómetro es el conversor A/D (Analógico-Digital), el cual se encarga de tomar los datos del micrófono que son totalmente analógicos para luego convertirlos en una señal digital, luego de eso pasará por procesos matemáticos como la transformada rápida de Fourier ( FFT por sus siglas en ingles) y además de realizar una debida ponderación de estas muestras, para luego de eso poder visualizar estos datos [14].

### **1.5.1 TIPOS DE SONÓMETRO**

Para poder medir la cantidad de ruido que existe en un determinado ambiente o también conocido como el nivel de presión sonora, hoy en día se puede encontrar dos tipos de dispositivos para realizar este cometido, los cuales son los sonómetros generales y los sonómetros integradores o promediadores.

#### **1.5.1.1 SONÓMETROS GENERALES**

Los dispositivos denominados sonómetros generales son aquellos que permiten medir el nivel de presión sonora instantáneo en decibelios (dB), esta clase de instrumentos son muy versátiles para poder realizar diferentes evaluaciones en diferentes ambientes sonoros y poder ahorrar tiempo con este tipo de medición, estos dispositivos se encuentran comúnmente en el mercado los cuales van desde los \$30 en adelante dependiendo de las necesidades de medición ya sean estas técnica o no, también se encuentran estos dispositivos como aplicaciones para teléfonos móviles, estos últimos son muy fáciles de operar ya que el usuario puede interpretar los datos obtenidos de una manera muy sencilla.

### 1.5.1.2 Sonómetros Integradores Promediadores

Los sonómetros integradores tienen la capacidad de poder medir el nivel continuo equivalente ( $L_{eq}$ ), además poseen algunas características que no tienen los sonómetros generales tales como transmisión de datos al ordenador, visualización de medidas hasta con 4 cifras decimales y análisis de frecuencias [15].

Los sonómetros se dividen en tres tipos o clases según su precisión, según el estándar internacional IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) en la norma IEC651, reformado por la IEC 61672, estipula que los instrumentos de medida de sonido, los cuales los sonómetros constituyen una parte, se dividen en tres tipos según su precisión, estos son el tipo 0, 1 y 2.

- *Sonómetro de clase 3*: es el menos preciso y solo permite realizar mediciones aproximadas, estos dispositivos se los encuentran comúnmente en aplicaciones para teléfonos móviles o el mercado digital a un precio muy conveniente.
- *Sonómetro de clase 2*: permite realizar mediciones generales en los trabajos de campo.
- *Sonómetro de clase 1*: permite el trabajo de campo con precisión.
- *Sonómetro de clase 0*: generalmente son usados para obtener niveles de referencias, básicamente esto se lo realiza en ambientes de laboratorios

### 1.5.2 PRINCIPALES PARÁMETROS DE MEDIDA

Para poder cuantificar la cantidad de ruido, se realizará una prueba en un determinado ambiente que simule el comportamiento del oído humano, los instrumentos de medida se han equipado principalmente con las redes de ponderaciones A y C para determinar la contribución de componentes de frecuencia en el ancho de banda de audición. A continuación, se explicará a especie de introducción cada una de las curvas de ponderación.



- Ponderación de frecuencia A: Se utiliza para medir la respuesta del oído ante un sonido de baja intensidad, esta red de ponderación es la más utilizada comúnmente, en las leyes y reglamentos se utiliza esta curva de ponderación para poder cuantificar la cantidad nivel de presión acústica en cualquier ambiente.
- Ponderación de frecuencia B: Se creó para intensidades medias, pero sin embargo tiene muy poca utilidad, actualmente la mayoría de los sonómetros no poseen este tipo de ponderación.
- Ponderación de frecuencia C: Generalmente este tipo de ponderación me sirve para medir la respuesta al oído en grandes intensidades, actualmente se lo utiliza tanto o más que el tipo de ponderación frecuencia A, en la actualidad me sirve también para evaluar los sonidos graves en la banda de frecuencia audible.
- Ponderación de frecuencia D: Este tipo de ponderación es la forma más reciente que existe y sirve para medir niveles de sonido ultrasónicos, no audibles para los seres humanos.

Se mostrará a continuación que la circuitería electrónica o algún tipo de lenguaje de programación permite obtener ponderaciones en el tiempo, esto se refiere a la velocidad que son tomadas cada una de las muestras, para este análisis existen cuatro posiciones normalizadas según la IEC 651, cabe mencionar que la más utilizada en la mayoría de los equipos de medición acústica son del tipo de medición lenta (slow).

- *Lento (slow, S)*: El instrumento medición que realiza este tipo de medición responde lentamente ante mediciones acústicas, el valor (promedio) eficaz es de aproximadamente un segundo, este tipo de toma de muestra se utiliza de manera muy recurrente en la ponderación de frecuencia A, ya que esta se asemeja mucho al comportamiento del oído humano.

- *Por impulso (Impulse, I)*: Se emplea para medir la respuesta al oído ante los sonidos de corta duración con un valor (promedio) eficaz de 35 milisegundos,
- *Rápido (Fast, F)*: Este tipo de medición toma las muestras a un valor (promedio) eficaz, es decir el valor que muestra el dispositivo de medición es cada 125 milisegundos, este tipo de toma de muestra es más efectivo ante las fluctuaciones.
- *Por Pico (Peak, P)*: Sirve para evaluar el alto riesgo de pérdida de audición ante un impulso de muy corta duración, pero de un valor muy intenso, este intervalo de tiempo de medición oscila entre los 50 y los 100 milisegundos.

## 1.6 MICRÓFONOS

Los micrófonos o también llamados transductores son aquellos que transforman la energía acústica en energía eléctrica, llámese energía acústica a una onda de sonido.

Los micrófonos hacen uso del diafragma que se pone en movimiento cuando las ondas de sonido inciden sobre él. El diafragma es una pieza delgada de metal o de plástico que está conectada a la electrónica del micrófono, y que provee de la transferencia de energía. El caso de movimiento del diafragma es directamente proporcional a la señal de salida. Si el diafragma se mueve una distancia larga (en respuesta a una señal de gran amplitud) el nivel de salida del micrófono será mayor. Si el diafragma se mueve rápidamente (en respuesta a una señal de alta frecuencia), la salida reflejará la misma frecuencia que la onda sonora.

### 1.6.1 PARTES DE UN MICRÓFONO

Generalmente para probar un micrófono siempre nos expresamos de una manera muy particular como es el ya conocido Un dos... *¿Se me escucha?... Sissi... Nnno... este instrumento se ha convertido en algo cotidiano en la sociedad*

que no solo sirve para poder amplificar nuestra voz y que nos escuchen los demás, además también se tienen en equipos como los teléfonos celulares, drones y un sinnúmero de artefactos electrónicos.

La voz produce una serie de vibraciones que ejercen presión sobre un diafragma que se encuentra dentro del micrófono, una membrana similar al tímpano de nuestros oídos. Esta membrana está unida a un dispositivo que, dependiendo del tipo de micrófono, puede ser una bobina, un cristal, partículas de carbón, un condensador etc. A su vez este mecanismo es capaz de transformar estas variaciones sonoras en electricidad [16].

El micrófono generalmente consta de 5 partes, cabe recalcar que esto varía dependiendo de algunas marcas que lo fabrican, pero esencialmente estas son las más preponderantes. Las cuales se describirán a continuación.

#### **1.6.1.1 Diafragma**

En un micrófono es la parte más sensible, el diafragma es una membrana que recibe las vibraciones de nuestra voz y está unido al sistema que transforma estas ondas en energía eléctrica.

#### **1.6.1.2 Dispositivo transductor**

Esta caja microfónica está construida de diferentes maneras y dependiendo del tipo de transductor, podemos tener diferentes clases de micrófonos como dinámicos, de condensador, de carbón o piezoeléctrico estos en particular se encargan de convertir los sonidos en energía eléctrica.

#### **1.6.1.3 Rejilla**

La rejilla es el protector del diafragma, protege ante los golpes de sonido vocales tales como la “p” y la “b”, además como los golpes físicos que pueda sufrir en una determinada caída.

#### 1.6.1.4 Carcasa

Es un receptáculo o caja donde van todos los componentes del micrófono, comercialmente se los puede encontrar metálicos como de plásticos dependiendo de las necesidades de los clientes.

#### 1.6.1.5 Conector de salida

A través del conector, llevamos la señal eléctrica a la consola. Por lo general son conectores XLR macho. En los modelos sin cables o inalámbricos, el conector de salida se cambia por un pequeño transmisor de radiofrecuencia que envía la señal a través de ondas electromagnéticas. En el caso de proyectos de electrónica se utilizan pines, estos generalmente son cuatro, positivo, tierra, transmisor y receptor [17]. Esto se aplica básicamente para conectores de salidas clásicos los cuales están directamente relacionados con los micrófonos tradicionales, pero en el caso de micrófonos de sonómetros estos poseen algunas características particulares, ya que para poder procesar las diversas señales de audios necesitan filtros más efectivos para luego procesar la información y poder trabajar sobre ella.



Figura 1.5 Partes principales de un micrófono [15].

## **1.6.2 TIPOS DE MICRÓFONOS**

Existe una gran variedad de tipos de micrófonos desde los profesionales que son de uso exclusivo para realizar música como los de los laboratorios de acústicas, además de los más comunes que se encontraran en los teléfonos móviles, se describirá algunas clases de micrófonos que existen.

### **1.6.2.1 Micrófonos de Carbón.**

El micrófono de carbón generalmente es usado en los teléfonos, ya que nunca fueron concebidos para proveer alta fidelidad a lo largo de todo el espectro de audio (20 Hz - 20 kHz).

### **1.6.2.2 Piezoeléctricos.**

Los micrófonos piezoeléctricos son comúnmente micrófonos hogareños baratos, también se los utilizan como micrófonos de contacto para instrumentos musicales.

### **1.6.2.3 Dinámicos**

El micrófono dinámico es probablemente el más común, su diseño permite audio de alta calidad sin ser extremadamente frágil, además trabaja por el principio de la inducción magnética, o sea que genera energía eléctrica por el movimiento de una pieza de metal a través de un campo magnético.

### **1.6.2.4 Condensador**

Los micrófonos de condensador o de capacitor son muy populares y se los conoce por su fidelidad y precisión. Desafortunadamente, son más frágiles que los dinámicos, y llevan dentro una cantidad importante de componentes electrónicos. Un micrófono de condensador produce su señal de salida, la cual es proveniente de las variaciones de capacitancia entre dos placas cargadas en forma opuesta (el diafragma y la placa posterior). A diferencia de los micrófonos dinámicos, en los micrófonos de condensador no hay nada aferrado al diafragma, por lo que este se mueve libremente, suministrando una salida de alta precisión. El diafragma está

montado encima de una pieza pequeña de metal llamada placa posterior (back plate).

Ambas son cargadas eléctricamente con polaridades opuestas. Al moverse el diafragma a causa de las ondas de sonido, la carga eléctrica que induce en la placa posterior fluctúa. Esta fluctuación de voltaje en la placa posterior se convierte en la señal de salida del micrófono.

La carga para el diafragma y la placa posterior, conocida como voltaje de polarización, es provista en forma externa. Esta potencia puede provenir de diferentes lugares.

Los 48 volts de corriente continua de la fuente de potencia fantasma (phantom power) de la consola pueden cargar a la mayoría de los micrófonos de condensador. La potencia fantasma viaja desde el preamplificador de micrófono de la consola a través del cable del micrófono.

Algunos micrófonos vienen con su propia fuente externa de potencia fantasma. Esto es necesario para cualquier micrófono no diseñado para operar en 48 volts. Los micrófonos de tipo valvular más antiguos suelen tener una fuente de potencia externa que tiene un cable para la corriente alterna de alimentación, un conector XLR para alimentar a la consola, y un conector multipin para alimentar al micrófono, así como para recibir su señal de vuelta.

### **1.6.3 PATRONES DE MICRÓFONOS**

Los micrófonos que comúnmente se conocen no solo se clasifican por sus elementos sino también suelen ser identificados o clasificados por sus patrones de direccionalidad. Estos patrones me dan una medida de que tan bien los micrófonos pueden captar el sonido proveniente de diferentes direcciones, existen dos clases de patrones los cuales son omnidireccionales y direccional, los primeros son los más fáciles de diseñar, construir y comprender, a continuación, se explicará de manera más detalla cada uno de estos patrones.

### **1.6.3.1 Respuesta Direccional**

El término respuesta direccional se refiere a la forma en que cambia la respuesta de salida de un micrófono a causa del arribo del sonido desde diferentes ángulos.

Algunos micrófonos ofrecen características de direccionalidad seleccionables. Los términos patrón polar (polar pattern) o patrón de captación (pickup pattern) se usan también para describir la sensibilidad direccional.

El patrón polar más común es el cardiode (unidireccional). Un micrófono cardiode es más sensible sobre el frente del mismo y menos sensible en la parte posterior. Los sonidos que arriben directamente al diafragma del micrófono serán captados del mejor modo posible por el micrófono.

Los sonidos que llegan directamente al frente del micrófono, se dice que están en el eje del mismo (on axis), o a  $0^\circ$ . A medida que se incrementa el ángulo al cual la onda de sonido golpea al diafragma, la sensibilidad disminuye. En la parte posterior del micrófono ( $180^\circ$  fuera del eje u off axis), es donde el micrófono es menos sensitivo.

### **1.6.3.2 Patrón de Supercardiode.**

Este patrón ofrece un área de captación más ajustada que un cardiode, pero es un poco más sensible a los sonidos que llegan desde atrás. Al área pequeña de sensibilidad detrás del micrófono se la llama lóbulo trasero.

### **1.6.3.3 Patrón de Hipercardiode**

El micrófono tiene un patrón de respuesta frontal muy estrecho (más que un supercardioid), pero responde más aun a los sonidos de su parte trasera y ofrece un gran rechazo a los sonidos que llegan desde ángulos de  $120^\circ$  y  $240^\circ$ , generalmente este tipo de patrón se genera cuando tenemos sonidos que llegan desde la parte posterior o también los conocidos bajos.

### 1.6.3.4 Patrón Polar Omnidireccional.

Un micrófono con un patrón polar omnidireccional es igualmente sensitivo a todos los sonidos, sin hacer caso de la dirección desde la que viaja la onda de sonido que golpea al diafragma.

### 1.6.3.5 Patrón Bidireccional

Un micrófono con un patrón bidireccional es sensible a los sonidos que llegan desde el frente ( $0^\circ$ ) y la parte posterior ( $180^\circ$ ), pero rechaza la información que llega desde los lados ( $90^\circ$  y  $270^\circ$ ).

A continuación, se muestra los patrones anteriormente descritos en la figura 1.7

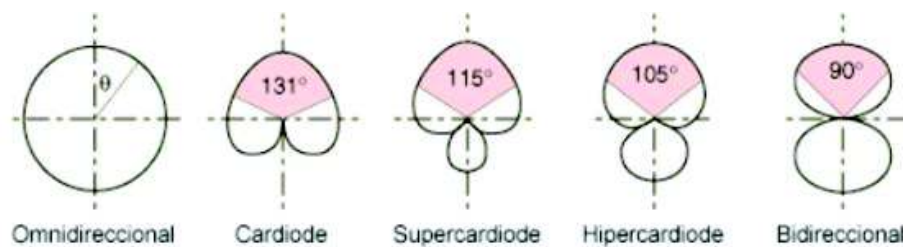


Figura 1.6 Diferentes tipos de patrones [17].

## 1.7 NORMATIVA DESCRIPCIÓN Y MEDIDA DE RUIDO AMBIENTAL

### 1.7.1 NTE INEN-ISO 3740

La NTE<sup>6</sup> INEN<sup>7</sup>-ISO<sup>8</sup> 3740 explica los diferentes métodos que permiten determinar la emisión sonora de una máquina, equipo, o de un sub-conjunto de dichos equipos, para entender de una manera más sencilla a esta norma se ha dividido en tres categorías.

- *Métodos para la determinación de los niveles de potencia:* Especifican métodos de precisión, de ingeniería o de control, para determinar los

<sup>6</sup> **NTE:** Normas Técnicas Ecuatorianas.

<sup>7</sup> **INEN:** Instituto Ecuatoriano de Normalización.

<sup>8</sup> **ISO:** Por su traducción en español es Organización Internacional de Estandarización.



niveles de potencia acústica de maquinarias y equipos a partir de las mediciones de nivel de precisión acústica en diferentes puntos.

- *Métodos para la determinación de los niveles de presión acústica de emisión en los puestos de trabajo y en otras posiciones específicas:* Especifican las directrices para la elección del método a utilizar.
- *Código de ensayo de ruido:* básicamente se trata de especificar los métodos de instrumentación para poder cuantificar el nivel de potencia sonora [18].

### **1.7.2 NTE INEN-ISO 3822-1**

Esta norma se basa específicamente en calcular el nivel de presión sonora en los aparatos o maquinarias relacionadas específicamente en el área de tratamiento de agua, tales como las instalaciones de los correspondientes suministros de agua, grifos o las válvulas de líneas, así también como reductores de presión y aparatos de calentamiento [19].

### **1.7.3 NTE INEN-ISO 11690-1**

La gran mayoría de las Normas Internacionales existente mencionadas anteriormente especifican métodos para la medida y/o evaluación del ruido, sin embargo, el objetivo de esta norma es la reducción del ruido.

La norma proporciona las estrategias a tener en cuenta para tratar los problemas de ruido en lugares de trabajo existentes o planificados, mediante la descripción de conceptos básicos de control de ruido, es aplicable a todo tipo de trabajo y a todo tipo de fuentes de ruido que se ubican en lugares de trabajo, incluyendo las actividades humanas [20].

### **1.7.4 IEC 61672.**

La IEC por sus siglas en inglés (Electroacoustics – sound level meters -part 1:specifications), estas normas son exclusivas para para los sonómetros, cabe

recalcar que esta norma sustituye a la IEC<sup>9</sup> 651 e IEC 804. Norma internacional de sonómetros aceptada por la mayoría de los países del mundo (a excepción de EEUU donde usan la norma ANSI<sup>10</sup> S 1.4). Sus especificaciones son más rigurosas: (Desaparece el sonómetro Tipo 3, mejora las pruebas y calidad de los instrumentos, Nueva terminología, los nuevos instrumentos se referirán a esta norma y mejora la precisión).

#### **1.7.5 IEC 60942.**

(Electroacustics – sound calibrations) Especifica los requisitos de rendimiento para las tres clases de calibrador de sonido: estándar de laboratorio (de clase LS), clase 1 y clase 2. Los límites de tolerancia son los más pequeños de la clase LS y mayor para los instrumentos de clase 2.

#### **1.7.6 IEC 61260.**

(Electroacustics – Octave Band and fractional – octave band filters). Proporciona los requisitos de rendimiento y métodos para probar el rendimiento analógico de la muestra de datos e implementaciones digitales de filtros de banda que conforman un conjunto de filtros o analizador de espectro. Esta publicación sustituye a la norma IE

---

<sup>9</sup> **IEC:** Por su traducción en español es Comisión Electrotécnica Internacional.

<sup>10</sup> **ANSI:** El Instituto Nacional Estadounidense de Estándares, más conocido como ANSI, es una organización sin fines de lucro que supervisa el desarrollo de estándares para productos, servicios, procesos y sistemas en los Estados Unidos.

## CAPÍTULO 2

Al realizar algún tipo de medición acústica se utilizan dos formas de cálculo a la hora de evaluar cualquier tipo de ponderación, estas pueden ser de tipo temporal o de frecuencia, las cuales sirven para poder obtener información que luego será procesada dependiendo del método de ponderación que se utilice. Algo importante de resaltar que los aparatos que ayudan a cuantificar la cantidad de ruido se los denominan sonómetro y dosímetro acústico.

Para poder tener una idea del tipo de ponderaciones mencionadas anteriormente se explicará en forma general cada una de ellas.

### 2.1 PONDERACIÓN DE FRECUENCIA

Este tipo de ponderación está directamente relacionado con las cualidades y características intrínsecas del sonido y poseen un elemento psicoacústica<sup>11</sup> muy alto, el cual está sujeto a percepción, debido a que el oído de los seres humanos reacciona de manera diferente en el rango de frecuencia de audición para diferentes valores de presión acústica, es decir que para diferentes tipos de muestras de frecuencias y entre diferentes oídos humanos no se va a captar la misma respuesta ya que cada oído es único y está sujeto a cualquier tipo de percepción.

#### 2.1.1 PONDERACIÓN TEMPORAL

La ponderación temporal tiene su inicio en los vetustos y antiguos sonómetros, debido que en muchas ocasiones se pretendía medir la cantidad de sonido que variaba mucho en el tiempo, se utilizaba como herramienta para evaluar aquellas variaciones una ponderación temporal lenta, la cual podía seguir los continuos cambios de la señal y de esta forma obtener una medición más veraz, por el

---

<sup>11</sup> **Psicoacústica:** es el estudio científico de la percepción del sonido. Más específicamente es la rama de la ciencia que estudia la psicología y las respuestas psicológicas asociadas con el sonido (incluyendo el habla y la música.)

contrario cuando las mediciones de ruido o sonido se mostraban de una forma más rápida se utilizaba una ponderación temporal rápida, en la actualidad este concepto se utiliza en la gran mayoría de sonómetros tanto a nivel comercial como investigativos.

## 2.1.2 CURVAS DE IGUAL SONORIDAD

Las curvas de igual sonoridad o curvas isófonas son muy importantes a la hora de realizar una comparativa en la medición de nivel de presión sonora para diferentes frecuencias. La unidad de medida que se utiliza en este tipo de curvas se las denomina *fonio o fon*, la cual es totalmente adimensional y logarítmica, generalmente, su unidad de medición es el decibelio [21].

Un ejemplo sencillo para comprender este concepto, es decir que manteniendo la frecuencia de 1000 Hz se obtendrá valores distintos dependiendo de las curvas isofónicas y además diferentes valores de nivel de presión acústica, en este caso a 1000 Hz y en la curva de 20 fonios tengo un valor de nivel de presión acústica de 20 dB mientras que con la misma frecuencia en la curva de 60 fonios se obtendrá un valor de 60 dB. A lo largo de la historia han existido muchas curvas de igual de sonoridad, pero revisarán los trabajos más conocidos y aceptados, prestando un mayor énfasis a las curvas de Fletcher-Munson y las más precisas las curvas Robinson-Dadson.

Los diferentes estudios de Munson y Dadson surgieron de la necesidad de reducir el número de curvas de igual sonoridad ya que el estándar ISO 226 "*Equal-Loudness-Level Contour Signal*" representa una multitud de curvas de igual sonoridad, esto se dio paso para poder regular estos trabajos investigativos de los científicos mencionadas anteriormente.

### 2.1.2.1 Curva de Fletcher –Munson

Por el año de 1933 cuando se comenzaba a realizar estudios sobre los primeros científicos en trazar lo que hoy en día se conocen como curvas de igual sonoridad

los científicos que contribuyeron a este estudio fueron Fletcher <sup>12</sup> y Wilden A. Munson, estas curvas se obtuvieron a raíz de la investigación y experimentación sobre cómo se comporta el oído humano a determinados sonidos.

Para poder llegar a esta curva de ponderación se realizó una investigación, el cual consistía en hacer escuchar dos tonos de frecuencias a un grupo de personas mediante unos auriculares y cada uno de ellos al escuchar estos tonos tenía que juzgar que, si eran iguales o equivalentes, algo importante de resaltar que en cada una de las pruebas se comparaba el tono de referencia que en este caso era de 1000Hz, con los demás tonos a experimentar.

A continuación, se muestra la curva de Fletcher-Munson en la figura 2.1

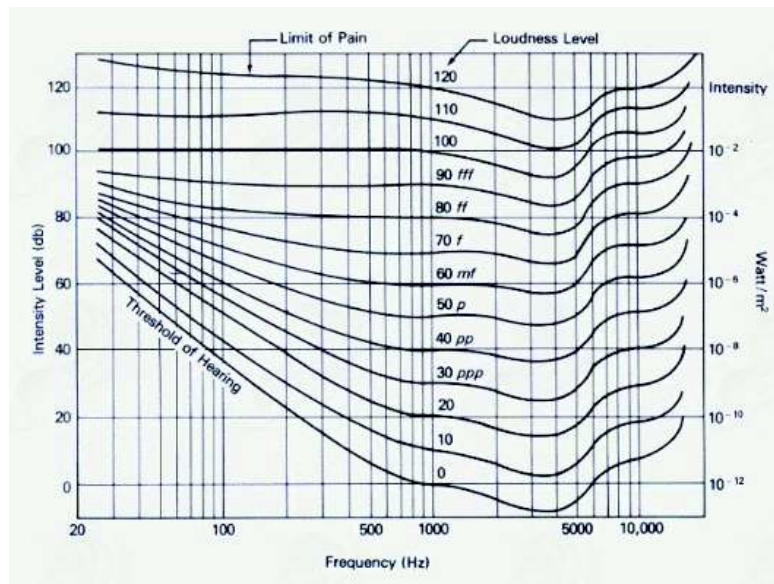


Figura 2.1 Curva de Fletcher-Munson [21].

Las gráficas vienen calibradas de manera que un 1KHz coincida con los decibelios objetivos o decibelios de potencia sonora. En otras palabras, según estas curvas se percibirá igual un sonido de 1000Hz a 60dB objetivos que uno de 100Hz a 70dB. O interpretado de otra manera, supongamos que solo podemos oír a 20dB objetivos desde 250 Hz en adelante, o 40 dB objetivos desde 120Hz en adelante.

<sup>12</sup> El físico **Harvey Fletcher** (1884-1981) nació un 11 de septiembre. Se lo conoce principalmente por la invención del audífono, y realizó numerosas contribuciones en la acústica

Las curvas nos indican de igual manera que la zona más sensible es la que se encuentre a los 4000Hz, además según la gráfica nos dice que podemos oír por debajo de los 0dB objetivos en el rango de 1000 a 6000Hz [22].

### 2.1.2.2 Curvas de Robison-Dadson.

Después de algunos años, de la presentación de los resultados de la curva de igual sonoridad por parte de Fletcher y Munson, surgió una nueva curva gracias al aporte e investigación de los científicos D. W. Robison y R. S. Dadson, recalculadas de las curvas anteriores y más precisas, en la figura 2.2 se muestra esta curva, debido a esto se obtuvo la norma internacional ISO 226 “*Equal-Loudness- Level Contour Signal*”.

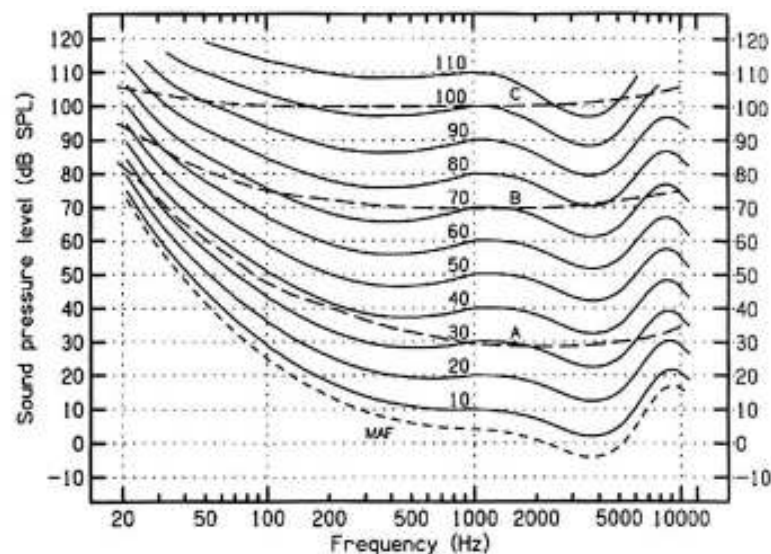


Figura 2.2 Curva de Robison-Dadson [22].

Para poder llegar a esta curva se experimentó con sujetos de pruebas a las cuales se los introdujo a cámaras anecoicas<sup>13</sup> con unos auriculares, a diferencia de los experimentos pasados en el cual consistía generar sonidos con altavoces, esta característica fue muy criticada, ya que la exposición frontal del sonido por parte de un altavoz central puede ser de esperar que se reduzca la sensibilidad a altas frecuencias, que son parcialmente enmascaradas por la cabeza.

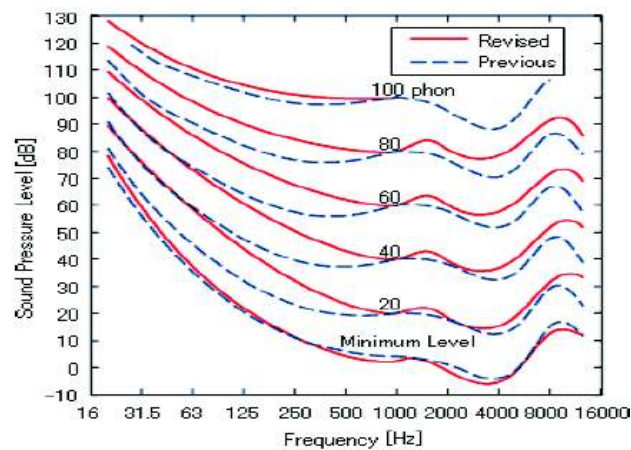
<sup>13</sup> **Anecoicas:** Nombre dado en física a las cámaras herméticamente selladas que no permiten el ingreso de ningún tipo de sonido

Las curvas de Fletcher y Dadson son válidas exclusivamente para los campos sonoros directos, ya que esta clase de campos no introducen ningún tipo de variación.

### 2.1.3 ESTÁNDAR INTERNACIONAL ISO 226

Este estándar internacional especifica combinaciones de niveles de presión de sonido y frecuencias de tonos continuos puros que los oyentes humanos perciben como igualmente ruidosos. Las especificaciones se basan con ciertas especificaciones, una de ellas es que el campo de sonido en ausencia del oyente consiste en una onda plana progresiva libre, además la fuente del sonido debe estar directamente frente al oyente, las señales de sonido son tonos puros y nivel de presión acústica se mide en la posición donde estaría el centro de la cabeza del oyente, pero en ausencia del oyente, escuchar es binatural y por último los oyentes son personas otológicamente normales en el rango de edad de 18 años a 25 años inclusive.

Después de algún periodo de tiempo se volvió a revisar la norma y se realizó un nuevo trabajo basado en frecuencias por debajo de 1KHz, esta nueva revisión y por lo tanto la actual norma de estándar internacional es la ISO 226:2003, que se muestra en la figura 2.3.



**Figura 2.3** Curva del estándar ISO R226:1961, revisión definida ISO:2003 [22].

## 2.2 ORIGEN DE LA PONDERACIÓN DE FRECUENCIA A

El presente trabajo desea cuantificar y ponderar la cantidad de ruido que el sentido de audición humana pueda percibir, ya que este es un fenómeno muy complejo, que depende de la frecuencia y del nivel de presión sonora de la onda sonora, se desarrollaron técnicas matemáticas para poder medir esta intensidad de ruido a las cuales se las denominan ponderaciones frecuenciales o curvas de ponderación. Se dio como resultado la obtención de cuatro tipos de escalas o formas de medición denominadas A, B, C, D que están estandarizadas por normas internacionales.

El principal propósito de la ponderación de frecuencia es tratar de ajustar la medición acústica o nivel de presión sonora a la respuesta de frecuencia promedio de la audición humana. La ponderación o curva "A" nació a partir de los contornos de igual sonoridad o las llamadas también curvas isofónicas, al igual que las curvas "B" y "C". La ponderación "A" fue obtenida de la curva de sonoridad de 40 fonios, al invertir dicha curva se obtiene la forma aproximada del filtro "A", lo mismo también sucede con las ponderaciones "B" y "C" que surgen de las simplificaciones de los contornos de 70 fonios y 100 fonios respectivamente.

La ponderación de frecuencia A está diseñada como atenuación al oído humano cuando resiste niveles de presión sonoros por debajo de los 55 decibelios a las distintas frecuencias, mientras el nivel de ponderación B representa la atenuación para niveles intermedios de (55-85dB), para la ponderación C niveles altos los cuales van de (>85dB) y como última, además de ser la menos utilizada la ponderación de frecuencia D la cual está pensada para niveles de presión sonora muy altos. Investigaciones y estudios posteriores han demostrado que independientemente del nivel de presión sonora, para la mayoría de los ruidos, la ponderación de frecuencia A es la más utilizada a nivel mundial ya que este tipo de medición se asemeja más al comportamiento real del oído humano. Algo muy importante que no se debe olvidar que cuando tomamos una medición en la ponderación descrita anteriormente se debe incluir la letra característica, como así



también en las demás mediciones para las diferentes ponderaciones. Por ejemplo, dB A [23].

A continuación, se muestra en la ecuación 2.1 la expresión matemática para poder realizar la ponderación de frecuencia A [24].

$$A: Ra(f) = \frac{12200^2 \cdot f^2}{(f^2 + 20,6^2) \cdot (f^2 + 12200^2) \cdot \sqrt{f^2 + 107,7^2} \cdot \sqrt{f^2 + 737,9^2}} \quad (2.1)$$

A continuación, veremos que se muestra a 1Kz una atenuación de 2,0 dB para la curva de ponderación A, debido a que las curvas de ponderación se atenúan a 1 KHz tenemos expresado matemáticamente esta relación por medio de la ecuación 2.2.

$$A = 20 \cdot \log(Ra(f)) \text{ dB} + 2,00 \text{ db} \quad (2.2)$$

Luego de realizar todo el proceso necesario se tendrá a continuación la formula matemáticamente resumida en la ecuación 2.3 la cual es la que se utilizara para el caso del presenta proyecto de titulación. Donde  $f$  es la frecuencia en Hercios y  $W_A$  es la ponderación aplicar en esa frecuencia.

$$W_A = 10 \log \left[ \frac{1,562339 \cdot f^4}{(f^2 + 107,65265^2)(f^2 + 737,86223^2)} \right] + 10 \log \left[ \frac{2,242881 \times 10^{16} \cdot f^4}{(f^2 + 20,598997^2)(f^2 + 12194,22^2)} \right] \quad (2.3)$$

El nivel de presión sonoro global se podrá calcular con la combinación de los diferentes niveles de banda de octavas corregidos, en la tabla 2.1 se presentan estos valores a diferentes frecuencias de octavas [25].

Frecuencia (Hz)	Lp (dB)	Ponderación A (dB)	LpA(dB)
31.5	94	-39	55
63	95	-26	69
125	92	-16	76
250	95	-9	86
500	97	-3	94
1000	97	0	97
2000	102	+1	103
4000	97	+1	98
8000	92	-1	91

**Tabla 2.1** Tabla de equivalencia en ponderación A.

## 2.3 PONDERACIÓN DE FRECUENCIA B

La ponderación de frecuencia B se utiliza básicamente para poder medir niveles de presión sonora intermedios los cuales corresponde a una curva de ponderación sonora de 70 fonios, este tipo de ponderación con la escala reciben el nombre de  $dB (B)$ , es decir, son decibelios ponderados en la escala de ponderación B, es muy importante de resaltar que este tipo de ponderación se suele usar para la medición de niveles de escucha musical, pero en la actualidad se está dejando de usar debido a la generalización de la ponderación A .

En la ecuación 2,4 se muestra la ponderación de frecuencia B.

$$W_B = 10 \log \left[ \frac{1,025119 \cdot f^4}{(f^2 + 158,48932^2)} \right] + 10 \log \left[ \frac{2,242881 \times 10^{16} \cdot f^4}{(f^2 + 20,598997^2)^2 (f^2 + 12194,22^2)^2} \right] \quad (2.4)$$

## 2.4 PONDERACIÓN DE FRECUENCIA C

La ponderación de frecuencia C utiliza la curva de 100 fonios de la curva de igual sonoridad de Fletcher Munsen, fue creada para medir niveles altos de presión acústica, la unidad de medida en este tipo de escala es  $dB (C)$ .

La ponderación de frecuencia A y C son obligatorias en los sonómetros de clase 1 según la norma estándar de medición IEC 537, generalmente se utilizan en aislamientos acústicos para dar una importancia a las frecuencias bajas del espectro.

A continuación, se muestra en la ecuación 2.5, la formula general para poder cuantificar la ponderación de frecuencia C, la cual es generalización para dicha ponderación de frecuencia.

$$W_C = 10 \log \left[ \frac{2,242881 \times 10^{16} \cdot f^4}{(f^2 + 20,598997^2)^2 (f^2 + 12194,22^2)^2} \right] \quad (2.5)$$

Frecuencia	Filtro (dB)	Frecuencia	Filtro (dB)	Frecuencia	Filtro (dB)
10	-14.3	80	-0.5	630	0
12.5	-11.2	100	-0.3	800	0
16	-8.5	125	-0.2	1000	0
20	-6.2	160	-0.1	1250	0
25	-4.4	200	0	1600	-0.1
31.5	-3	250	0	2000	-0.2
40	-2	315	0	2500	-0.3
50	-1.3	400	0	3150	-0.5
63	-0.8	500	0	4000	-0.8

Tabla 2.2 Tercios de octava en ponderación C, en el rango de 10 a 4000Hz.

## 2.5 PONDERACIÓN DE FRECUENCIA D

La ponderación de frecuencia D generalmente es usada para mediciones acústica muy altos, como los conocidos ruidos aeronáuticos. El rango de medición de frecuencia es de 1 a 10250 Hz. De la misma manera que la ponderación de frecuencia B la D no está incluida en la norma de estándar internacional IEC 61672:2003, pero su definición está registrada en la antigua norma IEC 60651:1979 A continuación, en la tabla 2.3 se muestra algunos valores en tercios de octavas

Frecuencia	Filtro (dB)	Frecuencia	Filtro (dB)	Frecuencia	Filtro (dB)
10	-	80	-9	630	-0.5
12.5	-	100	-7.2	800	-0.6
16	-	125	-5.5	1000	0
20	-	160	-4	1250	+2
25	-	200	-2.6	1600	+4.9
31.5	-	250	-1.6	2000	+7.9
40	-	315	-0.8	2500	+10.6
50	-12.8	400	-0.4	3150	+11.6
63	-10.9	500	-0.3	4000	+11.1

Tabla 2.3 Tercios de octava en ponderación D, en el rango de 10 a 4000Hz

## 2.6 FOURIER

El análisis y desarrollo de las ecuaciones de Fourier tiene una larga historia y un sinnúmero de científicos que aportaron con esta investigación, además también involucran muchos fenómenos físicos. Existe el concepto del empleo de las sumas trigonométricas, la cual sirve para describir fenómenos periódicos, esta data desde el tiempo de los babilonios, quienes utilizaron ideas de este tipo para predecir eventos astronómicos. Jean Baptiste Joseph Fourier, nació el 21 de marzo de 1728

en Auxerre, Francia, y para la época en que se adentró en la controversia de las series trigonométricas ya tenía una larga experiencia, las investigaciones en particular que contribuyo y que llevan su nombre actualmente, son aún las más impresionantes por las circunstancias en las cuales se desarrolló su trabajo, todos sus descubrimientos que aportarían a las matemáticas más adelante en la ciencia no fueron apreciados en vida por Fourier. Los eventos físicos que motivaron el trabajo de Fourier fueron los fenómenos de propagación y difusión de calor. Esto, por sí mismo, fue un paso significativo por cuanto con la mecánica racional y celestial [26].

### 2.6.1 SERIE DE FOURIER DE UNA SEÑAL PERIÓDICA.

Las series de Fourier es una serie infinita que converge puntualmente en una función periódica continua a trazos, está fundamentada en la posibilidad de encontrar en un intervalo específico por ejemplo  $t_0$  a  $t_0+T$  un conjunto de funciones ortogonales <sup>14</sup>entre sí que definan en dicho intervalo un sistema ortogonal de funciones, esto se puede apreciar en la figura 2.4

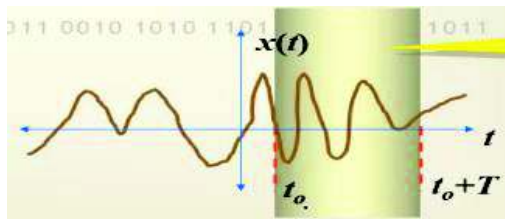


Figura 2.4 Intervalo de tiempo en una determinada función [26]

Si se tiene una función  $x(t)$  como mostró en la gráfica 2.4 que sea integrable, se puede establecer una serie, usando como funciones bases un conjunto de exponenciales complejas, o funciones sinusoidales esto se aprecia en la ecuación 2.6, donde se utiliza el concepto matemático de las series trigonométricas de Fourier.

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[ a_n \left( \cos 2\pi n \frac{1}{T} t \right) + b_n \left( \sin 2\pi n \frac{1}{T} t \right) \right] \quad (2.6)$$

<sup>14</sup> **Funciones Ortogonales**, en análisis funcional, se dice que dos funciones  $f$  y  $g$  de un cierto espacio son ortogonales si su producto escalar es nulo.

En las ecuaciones 2.7 hasta las 2.9 se muestran como obtener los coeficientes de la suma trigonométrica en la serie de Fourier de una función  $x(t)$ .

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) \cdot dt \quad (2.7)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) \cdot \cos 2\pi n \frac{1}{T} t dt \quad (2.8)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) \cdot \sin 2\pi n \frac{1}{T} t dt \quad (2.9)$$

A continuación, se explicará la serie exponencial de Fourier, esta serie exponencial compleja definida en el intervalo de menos infinito a más infinito se expresa como una superposición de fasores ponderados por el coeficiente complejo de Fourier que se calcula como el sumatorio el cual se muestra en la ecuación 2.10

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{j2\pi \frac{n}{T} t} \quad (2.10)$$

Cabe mencionar que la serie exponencial de Fourier toma valores desde el menos infinito hasta el más infinito a diferencia de la serie trigonométrica, lo que sucede que la serie exponencial tomará en cuenta todos los valores, sean positivos como negativos de los senos y cosenos, y los agrupará, lo cual al final se obtendrá algo igual a la serie trigonométrica, en la ecuación 2.11 se puede observar este teorema matemático.

$$C_n = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) e^{-j2\pi \frac{n}{T} t} dt \quad (2.11)$$

Además, se sabe que, la  $T$  mayúscula define el intervalo de análisis de la señal y cuando la señal es periódica toma el valor del periodo fundamental.

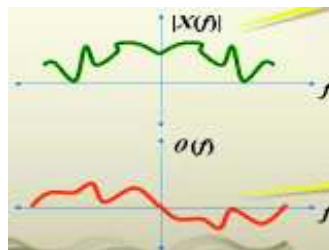
### 2.6.2 TRANSFORMADA DIRECTA DE FOURIER

La transformada directa de Fourier nos permite obtener una representación en el dominio de la frecuencia  $f$  si se conoce previamente su representación en el dominio de tiempo. La transformada de Fourier nos dotará de elementos que serán de utilidad para el análisis de señales en tiempo continuo, particularmente de señales de energía finita, cabe recalcar que esta señal no necesariamente debería ser periódica.

$$x(f) = \mathfrak{F} \{ x(t) \} = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (2.12)$$

La función  $x(f)$  como muestra la ecuación 2.13 está definida en los números complejos la cual se lo puedo escribirse en forma polar utilizando una función que representa la amplitud  $|X(f)|$  y otra función para representar la fase  $e^{j\theta(f)}$ , a la función que representa la amplitud se la conoce como espectro de magnitud y la función que representa la fase se la representa espectro de fase, en la figura 2.5 se puede observar estos criterios.

$$x(f) = \mathfrak{F} \{ x(t) \} = |X(f)| e^{j\theta(f)} \quad (2.13)$$



**Figura 2.5** Representación en amplitud  $|X(f)|$  y en fase  $\theta(f)$

### 2.6.3 TRANSFORMADA INVERSA DE FOURIER

Permite obtener una representación en el dominio del tiempo si se conoce previamente en su representación en el dominio de la frecuencia, la transformada

inversa de Fourier dará una expresión que defina la forma de onda como función del tiempo, a partir del espectro se podrá recuperar la forma de onda en el tiempo.

$$x(t) = \mathfrak{F}^{-1} \{ x(f) \} = \int_{-\infty}^{\infty} x(f) e^{j2\pi ft} df \quad (2.14)$$

## **2.7 GESTIÓN SOBRE EL RUIDO AMBIENTAL EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, ECUADOR.**

En el Distrito Metropolitano de Quito por medio de la Secretaria de Ambiente, realiza la debida gestión sobre el ruido, en la ordenanza No. 123 y sus debidas normas técnicas, en el marco regulatorio y técnico se realiza el control ambiental de las fuentes fijas, fuentes móviles de ruido, además también sobre el control industrial como el correspondiente parque automotor de la capital.

Según la percepción de los ciudadanos capitalinos en tercer lugar se encuentra la contaminación acústica, tales como el tráfico vehicular, actividades comerciales e industriales, son las causas de malestar en la ciudad capital. La secretaria de ambiente tiene la responsabilidad de realizar un diagnóstico ambiental, licenciar proyectos y actividades referentes a la contaminación acústica

### **2.7.1 Marco regulatorio**

La Ordenanza Metropolitana No. 213, “De la Prevención y Control del Medio Ambiente” publicada en el Registro oficial el 10 de septiembre de 2007, es la herramienta legal que permite regular la emisión de ruido de fuentes móviles y fijas en el Distrito Metropolitano de Quito, bajo las capitulaciones que van desde la dos hasta la cinco

La Resolución 002-DMA-2008, “Normas Técnicas de Calidad Ambiental expedidas el 4 de agosto de 2008, para viabilizar la aplicación de la Ordenanza No. 213, describe en su Art. 8 la Norma Técnica para el control de ruido causado por fuentes móviles y fijas, en la tabla 2.3 se muestran algunos valores de nivel de presión sonora para diferentes zonas [27].

TIPO DE ZONA SEGÚN EL USO DEL SUELO	NIVEL DE PRESIÓN SONORA EQUIVALENTE: NPS eq [DB(A)]	
	DE 06H00 A 20H00	DE 20H00 A 06H00
Zona Equipamientos y Protección <sup>(1)</sup>	45	35
Zona Residencial	50	40
Zona Residencial Múltiple <sup>(2)</sup>	55	45
Zona Comercial	60	50
Zona Industrial 1	60	50
Zona Industrial 2 <sup>(3)</sup>	65	55
Zona Industrial 3, 4, 5 <sup>(4)</sup>	70	60

**Tabla 2.4** Niveles Máximos permitidos de Ruido para Fuentes Fijas

CATEGORÍA DE VEHÍCULO	DESCRIPCIÓN	VELOCIDAD DEL MOTOR EN LA PRUEBA [rpm]	NPS MÁXIMO (DB(A))
Motocicletas o similares	Motocicleta, tricars, cuadrones y los vehículos de transmisión de cadena, con motores de 2 a 4 tiempos	De 4.000 a 5.000	90
Vehículos Livianos	Automotores de cuatro ruedas con un peso neto vehicular inferior a 3.500 kilos	De 2.500 a 3.500	88
Vehículos pesados para carga	Automotores de cuatro ó más ruedas, destinados al transporte de carga, con un peso neto vehicular superior o igual a 3.500 kilogramos	De 1.500 a 2.500	90
Buses, busetas	Automotores pesados destinados al transporte de personas, con un peso neto vehicular superior o igual a 3.500 kilos.	De 1.500 a 2.500	90

**Tabla 2.5** Niveles permitidos de Ruido para Automotores

### 2.7.2 Control y monitoreo

De acuerdo con el Capítulo V de la Ordenanza, las fuentes fijas (comercios, servicios e industrias) son reguladas a través de los Planes de Manejo Ambiental dentro de las Auditorías Ambientales (AA) o los lineamientos de las Guías de Prácticas Ambientales (GPA), de acuerdo a la clasificación del impacto que generan. Las actividades que cuentan con fuentes de ruido deben implementar medidas de insonorización con el fin de cumplir con los límites permisibles (Tabla 2.7) y aquellas fuentes significativas deben caracterizar a través de cuatro monitores anuales [27].



Al existir molestias de ruido se ha generado denuncias por partes de los ciudadanos Quiteños generando como resultados operativos de control por partes de los entes controladores y reguladores del Distrito Metropolitano de Quito.

De acuerdo al Capítulo III de la OM, el ruido generado por fuentes móviles es controlado en los Centros de Revisión Vehicular (Secretaria de Movilidad). Los controles externos se realizan en la vía pública con el apoyo de la Unidad de Protección Ambiental (UPMA) de la Policía Nacional [27].

Actualmente para poder realizar los debidos controles de ruidos se dispone de 14 estaciones fijas y 8 semifijas, las más importantes y que aportan mediciones significativas de niveles de ruidos dentro de la ciudad se encuentran ubicados en la Jipijapa, Centro y Camal que permiten medir de forma continua y permanente el ruido ambiental que se genera en puntos al norte, centro y sur de la ciudad [27].

## CAPITULO 3

### 3.1 STM32

La placa de evaluación STM32F4Discovery de ST Microelectronics es una tarjeta de entrenamiento de la familia de microcontroladores de ARM STM32 de 32-bit, algo importante de destacar es su bajo costo en el mercado.

En la tarjeta stm-32 la mayoría de los pines pueden ser programados para que realicen distintas funciones, estos están agrupados en cinco puertos (PA, PB, PC, PD y PE) de 16 líneas cada uno, adicionalmente existen dos pines, los cuales están relaciones con dos leds (actuadores), los cuales son reset y stop.

En la tarjeta existe un total de 30 pines no conectados, disponibles y configurables como entradas o salidas de distintos tipos, de estos, 16 de ellos pueden actuar como entradas analógicas con conversor analógico digital (por sus siglas en ingles ADC) de 12 bits, 2 como salidas de tipo conversor digital analógico (por sus siglas en ingles DAC), además existen salidas de impulsos PWM<sup>15</sup> modulados en duración, temporizadores y muchas otras funciones especiales.

#### 3.1.1 Requisitos de hardware.

Para poder utilizar la tarjeta stm32, es necesario un sistema operativo de paga o un software libre, además es necesario el cable de conexión USB mini a USB tipo B, el cual se podrá conectar a un puerto USB simple o superior.

#### 3.1.2 Requisitos de software

El microcontrolador STM32 al ser hardware libre se adapta a cualquier sistema operativo donde puede funcionar sin ningún inconveniente, en Windows se podrá utilizar Matlab el cual ofrece simulink que por medio de diagramas de bloque se

---

<sup>15</sup> **PWM también** conocido como modulación por ancho de pulso de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica

podrá programar la tarjeta, para poder utilizar se descarga una librería en simulink de Matlab denominada waijung.

### 3.1.3 Características del Microcontrolador.

Algunas características de la tarjeta STM32F407VG, se describen a continuación.

- La memoria flash es de 1 Mbyte.
- Posee una memoria RAM de 192KBytes.
- Posee un oscilador resistivo capacitivo.
- Para alimentar la tarjeta es necesario de 1.8 voltios a 3 voltios.
- Puede operar a una velocidad de 168MHz.
- La tarjeta posee un acelerómetro con salida digital.
- Sensor de audio ST MEMS MP45DT02, micrófono digital omnidireccional.
- Audio DAC CS43L22 con controlador integrado de altavoz de clase D.
- Pines de ingresos y salidas input, output.
- USB On The Go, full-speed (FS) y high-speed (HS).
- Ethernet.
- Memorias estáticas de soporte Compact flash, SRAM, PSRAM, NOR Y NAND.
- Para LCD posee una interface paralela.
- Dos pulsadores (usuario y reseteo).
- Bus OTG con conector micro-AB.

Una herramienta propietaria para poder programar y depurar las tarjetas stm8 a la stm32 es la ST-LINK de St-Microelectronics, utilizando conectadores JTAG o SWD<sup>16</sup>, cabe mencionar que estos depuradores son totalmente gratis, los cuales se los pueden descargar desde la manera principal y son compatibles tanto para Windows, IOS y software libre.

---

<sup>16</sup> **SWD**: por sus siglas en inglés Deug wirless serial o cable de depuración serial



Figura 3.1 Placa de entrenamiento Stm32 [28]

### 3.1.4 Periféricos y soportes

A continuación, se presentan algunos periféricos los cuales son importantes a la hora de realizar proyectos investigativos [28].

- Dispositivos I/O Interface.
- Audio.
- USB.
- Encabezados.
- Osciladores.

### 3.1.5 VENTAJAS

Se describirán algunas ventajas al utilizar la tarjeta de entrenamiento stm32

- Bajo costo.
- Incluye un incrustados ST-LINK para programar y depurar.
- Alimentado por USB para una evaluación rápida y fácil.
- Existe una vasta información bibliografía relacionada a trabajos electrónicos con la tarjeta de entrenamiento.

## 3.2 SENSOR DE SONIDO KY-038

El sensor KY-038, es un dispositivo que recepta el sonido analógicamente para luego ser procesado a nivel de software, este micrófono servirá para realizar varias

pruebas en Matlab con la herramienta de simulink antes de poder elegir el transductor idóneo, con el objetivo de poder afinar el prototipo, este sensor se ajustará a los requerimientos del mismo tanto a nivel de hardware como de software a continuación se describirá cada una de los componentes de dicho sensor como se muestra en la figura 3.2.

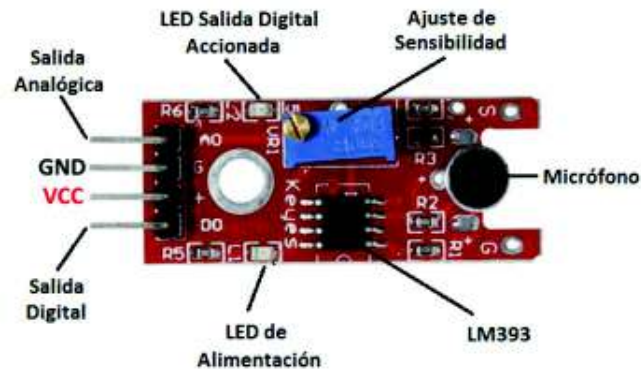


Figura 3.2 Esquema de principal del sensor del sonido KY-038 [29]

**Gnd:** este pin es la conexión a tierra.

**V<sub>cc</sub>:** este es la alimentación de voltaje la cual soporta hasta 5 voltios.

**D<sub>0</sub>:** es una salida digital que actúa a modo de comparador, cabe recalcar si el sonido captado por el micrófono supera un determinado nivel se pone con un valor de High.

**A<sub>0</sub>:** es una salida analógica que nos da un valor entre 0 y 1023 en función del volumen del sonido, además nos muestra la señal de voltaje en tiempo real del micrófono.

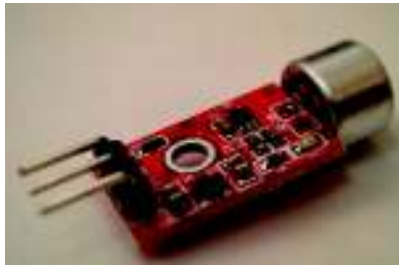
**Ajuste de sensibilidad:** se puede realizar un ajuste de umbral mediante un potenciómetro en el sensor o través de software mediante los requerimientos programación [29].

### 3.3 MODULO FC-109 SENSOR DE SONIDO MICRÓFONO MAX9812

Este módulo está conformado por un micrófono electret modelo CZN-15E, el cual es sensible a la intensidad sonora ambiental, y además posee un amplificador de audio MAX9812. La salida del módulo es analógica que va desde los 0 a 5 volts, y puede ser leída mediante cualquier entrada analógica de microcontroladores Microchip, PIC, etc [30].

A continuación, se describirán las características principales.

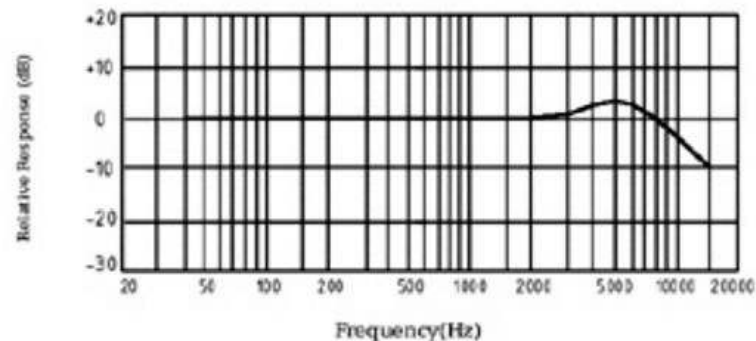
- Alimentación: 3.3 a 5 V DC.
- Permite detectar la intensidad de sonido del entorno.
- Incorpora un amplificador de audio MAX9812.
- Posee un orificio de instalación para facilitar su uso y montaje.
- Construido con un LED Indicador de alimentación.
- Conexión de 3 hilos.



**Figura 3.3** Sensor de sonido Max 9812 [30]

### 3.3.1 MICRÓFONO DE CONDENSADOR OMNIDIRECCIONAL ELECTRET CZN-15E

El micrófono de condensador omnidireccional electret CZN-15E , se ajustará a las características necesarias para la utilización en el prototipo del sonómetro digital con ponderación de frecuencia A, en la figura 3.4 se aprecia la curva de respuesta de frecuencia que tiene un rango de 20 a 20000 Hz , la respuesta del micrófono es lineal y a partir de 2000 hasta los 5000 Hz comienza a tener un aumento en dB este fenómeno se lo puede ajustar con la regresión matemática que será integrada en el prototipo en la parte de integración de software para que se ajustaste a las necesidades del diseño del prototipo [31].



**Figura 3.4** Curva de respuesta típica de frecuencia [31].

### Características

- Sensibilidad  $-46\pm 3\text{dB}$   $-42\pm 3\text{dB}$   $-38\pm 3\text{dB}$   $-34\pm 3\text{dB}$  ( $0\text{dB}=1\text{V/pa}$ ,  $1\text{KHz}$ ).
- Baja Impedancia.
- Directivita omnidireccional.
- Rango de frecuencia de  $20\text{-}16000\text{Hz}$ .
- Posee un rango de voltaje de  $1.5$  voltios a  $10$  voltios.
- Opera con un voltaje de  $4.5$  voltios.
- El consumo de corriente máximo es de  $0.5$  miliamperios.
- Reducción de sensibilidad dentro  $-3\text{dB}$  por cada  $3\text{V}$ .
- La relación de señal a ruido es de  $60$  decibelios.

### 3.3.2 MAX9812

El dispositivo MAX 9812 emplea para procesar señales de audio provenientes de micrófonos, básicamente se lo utiliza como amplificador de dicha señal. Se utiliza en plataformas conocidas como Arduino u otros tipos de hardware libre para medir el sonido desde cualquier procesador, en la figura 3.5 se muestra la configuración general de pines [32].

Se observó que los módulos anteriormente mencionados poseen una señal generada demasiado baja para poder ser registrado correctamente, para poder tomar muestras de sonidos o poder cuantificar dichos valores se tendrá que utilizar un amplificador de señal. El MAX9812 presenta algunas características tales como:

- Entradas simples y dobles.
- Ganancias fijas de  $20$  decibelios.
- $500\text{ KHz}$  de ancho de banda.
- Alimentación de  $2.7\text{V}$  a  $3.6\text{V}$  y otras versiones de  $4.5\text{V}$  a  $5.5\text{V}$ .
- Permite detectar la intensidad de sonido del entorno.
- Conexión de  $3$  hilos.
- Dimensiones:  $26 \times 12 \times 10\text{ mm}$ .
- Posee un orificio de instalación para facilitar su uso y montaje.



**Figura 3.5** Configuración de pines del módulo FC-109 (MAX9812) [32]

### 3.4 MODULO USB TTL CP2102

Este módulo USB es ideal para la comunicación de una Pc con un microcontrolador por lo general se utiliza una interface de programación serial, además de ser compatible con la gran mayoría de placas de hardware libre existente en el mercado en la figura 3.6 se muestra el esquema del usb TTL [33]

A continuación, se describe la funcionalidad de cada pin.

- **Gnd**: es la conexión a tierra entre el PC y el hardware.
- **+5v**: alimentación desde 3v a 5v.
- **T<sub>xd</sub>**: este pin sirve para la transmisión de información desde el PC hacia el hardware.
- **R<sub>xd</sub>**: este pin es el encargado de recibir la información del hardware hacia la PC.
- **Dtr**: este pin sirve como reset, generalmente utilizado en las placas de Arduino.
- **3<sub>v3</sub>**: alimentación de voltaje de 3,3 voltios generalmente esta conexión se la realiza en la raspberry Pi.



**Figura 3.6** Esquema principal del módulo USB TTL CP2102 [33]



### Especificaciones técnicas

- Trabaja a una velocidad de 12 Mbps con un conector USB 2.0.
- No requiere de resistencias externas.
- Posee un oscilador de cristal integrado.
- 3.3 voltios es el regulador de voltaje comúnmente.
- 576 Bytes para el buffer de recepción y 640 bytes para el de transmisión.
- -40 grados centígrados a 80 grados centígrados es la temperatura de trabajo.
- Opera en sistemas operativos como Windows 98 hasta la versión 10 y en sistemas operativos libres como Linux.

### 3.5 BLUETOOTH HC-05

Se utilizará el bluetooth HC-05 para poder enviar la información previamente procesada desde tarjeta stm32 hacia la pantalla LCD que en este caso se visualizará en un dispositivo móvil a través de una aplicación Android donde se podrá observar los parámetros que son requeridos para el presente proyecto a continuación en la figura 3.7 se muestra el esquema del módulo bluetooth.



**Figura 3.7** Bluetooth HC-05 [34].

Los módulo bluetooth HC-05 y HC-06 son muy populares para aplicaciones con microprocesadores PIC y especialmente por los arduinos ya que son módulos de bajo consumo, cabe mencionar que en el mercado se los puede conseguir a bajos precios, además de ser muy fácil de utilizar, a continuación se explicará de una manera más detallada como es el funcionamiento de estos módulos [34].

EL módulo HC-05 posee una característica especial la cual es que actúa como Maestro-Esclavo, esto quiere decir que además de recibir conexiones desde un PC o Tablet, también es capaz de generar conexiones hacia otros dispositivos

bluetooth, algo importante de rescatar es que se podrá conectar dos módulos con una conexión punto a punto para transmitir datos entre dos microcontroladores o dispositivos.

El HC-05 es un módulo, que consta de un regulador interno el cual permite que sea alimentado de 3.3 voltios a 6 voltios, su consumo de corriente es de 8mA (miliamperios) en estado de transmisión y recepción activa, su alcance es de 10 metros, posee niveles TTL, además también velocidades que van de los 1200 bps a 1.3Mbs. Esta tarjeta consta de cuatro pines los cuales corresponden a Vcc, Gnd, Txd, Rxd.

Las características físicas del Bluetooth HC-06 son la misma que el de su antecesor con la diferencia que este trabaja exclusivamente como módulo esclavo, además que también difieren en el firmware cargado de fábrica. Los pines varían de un fabricante a otro, en este caso los pines del HC-05 corresponden a Key, el cual este pin permite habilitar el módulo en modo configuración, Rdx, Txd, 5V, 3.3V y Gnd [35].

### 3.5.1 CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO BLUETOOTH

Los módulos Bluetooth HC-05 como HC-06 poseen una configuración predeterminada, la cual consta de una velocidad de 9600bps, nombres asignados como Livor o el modelo del módulo (HC-05 o HC-06) y una clave de acceso predeterminada la cual regularmente es 1234 o 0000. La configuración de los módulos Bluetooth se lleva a cabo mediante comandos AT<sup>17</sup>, los cuales son comandos en código ASCII y son enviados desde un terminal serial al módulo. Con dichos comandos es posible asignar un nombre al módulo Bluetooth, cambiar la clave de acceso, configurar la velocidad, es decir modificar sus parámetros de configuración. Para el caso del modelo HC-05, mediante comandos AT se puede elegir su modo de operación, es decir, decidir si operara como esclavo o maestro, otras posibles configuraciones son: asignar al módulo una dirección específica de

---

<sup>17</sup> **Comandos AT** son instrucciones codificadas que conforman un lenguaje de comunicación entre el hombre y un terminal.

dispositivo o dejar que este se conecte a cualquier dispositivo que se encuentre disponible, asignarle dirección MAC, entre otras [36].

### **3.5.2 ESTADOS DEL MODULO BLUETOOTH HC-05**

EL bluetooth HC-05 posee 4 estados, estos son muy importante a la hora de realizar una comunicación inalámbrica, a continuación, se los describirá.

#### **3.5.2.1 Estado Desconectado.**

El dispositivo se encuentra en este estado en el momento cuando se lo enciende o cuando no se ha establecido una conexión bluetooth con otro dispositivo, en este estado el led se encuentra intermitente. El HC-05 en este estado no puedo interpretar los comandos AT a diferencia del HC-06 [37].

#### **3.5.2.2 Estado Conectado o de comunicación.**

Cuando se establece una conexión con otro dispositivo, realiza doble parpadeo el led como signo de que se ha realizado la conexión, este tipo de comunicación es totalmente transparente.

#### **3.5.2.3 Modo AT 1**

Para poder entrar a este estado el dispositivo debe estar conectado y alimentado correctamente y después presionar el botón del módulo HC-05 es, se puede enviar comandos AT, el led en este módulo parpadea de manera parecida que en el estado desconectado.

### **3.5.3 CARACTERÍSTICAS DEL MODULO BLUETOOTH**

- Especificación bluetooth v2.0 + EDR (Enhanced Data Rate) [38].
- Mediante los comandos AT se puede configurar como esclavo en autoconfiguración.

- Como maestro y esclavo se lo puedo configurar.
- Posee un chip de radio CSR BC417143.
- Trabaja en la banda de 2.4 Ghz.
- Posee una antena PCB.
- Potencia de emisión:  $\leq 4$  dBm, Clase 2.
- El tipo de modulación utilizada es GFSK.
- El alcance es de 5 metros hasta los 10 metros.
- Sensibilidad:  $\leq -84$  dBm a 0.1% VER.
- Velocidad: Asíncrona: 2.1 Mbps (max.)/160 kbps, síncrona: 1 Mbps/1 Mbps.
- Seguridad: Autenticación y encriptación (Password por defecto: 1234).
- Consumo promedio de corriente es de 50 miliamperios.
- El voltaje de polarización es de 3.6 voltios a 6 voltios.
- La dimensión del dispositivo es de 1.7 centímetros por 4 centímetros aproximadamente.
- -20 grados centígrados a +75 grados centígrado es su temperatura de operación promedio.

### **3.6 RELOJ EN TIEMPO REAL RTC DS1307/DS3231**

En el mundo de la electrónica casera y Arduino existen dos RTC habituales el DS1307 y el DS3231, ambos fabricados por Maxim (anteriormente Dallas Semiconductor). El DS3231 tiene una precisión muy superior y puede considerarse sustituto del DS1307.

En el caso de la comunicación en ambos modelos se realiza a través del bus I2C por lo que es sencillo obtener los datos medidos. La tensión de alimentación es 4.5 a 5.5 para el DS1307, y 2.3 a 5.5V para el DS3231.

En la actualidad cuando se realizan proyectos electrónicos se requiere de alguna u otra manera almacenar con fecha y hora los datos recopilado en algún tipo de documento parecido al Excel, al utilizar generalmente el mismo microcontrolador para poder almacenar datos puede ser contraproducente ya que este puede

tornarse muy lento e ineficiente, para solventar este inconveniente se utiliza un RTC (reloj en tiempo real), además se utilizará  $I^2C^{18}$  bus, lo cual soluciona el problema de múltiples entradas y salidas en los módulos de trabajo o tarjetas de trabajos, se muestra en la figura 3.8 el esquema del reloj en tiempo real DS1307.



**Figura 3.8** Esquema general del reloj en tiempo real (RTC) DS1307/ DS3231

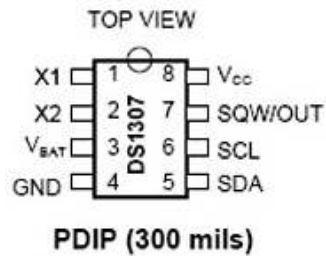
### 3.6.1 DS1307

Este pequeño integrado o dispositivo se lo podría traducir como una especie de reloj o calendario de bajo consumo de energía, la memoria Sram<sup>19</sup> no volátil posee 56 bytes, además provee información de año, mes, días, horas, minutos y segundos, es muy importante la característica que brinda en la configuración de poner 31 días además también se ajusta al año bisiesto, brinda la posibilidad de trabajar en un formato de 24 horas o 12 horas con indicadores de PM o AM, el DS1307 tiene un sensor que detecta inconvenientes de energía, además si lo tuviera lo cambia de forma inmediata a una fuente de respaldo

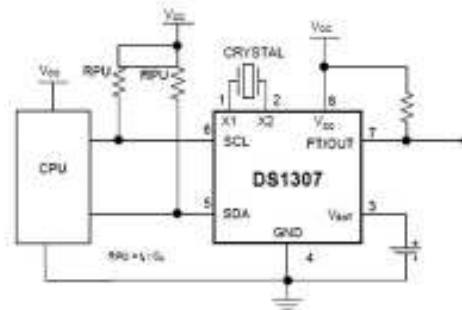
Para acceder a la información se lo puede realizar mediante la aplicación de un comando o código de inicio (start), seguido de su respectiva dirección de registro, estos registros se accederán de forma secuencial, cabe argumentar que cuenta con el ya conocido formato BCD (Binary Coded Decimal), a continuación, en la figura 3.9 se muestra la distribución de los pines. Este integrado utiliza un cristal de 32,768 KHz, el circuito oscilador no necesita resistencias o condensadores externos para poder funcionar, en la figura 3.10 se muestra la configuración típica del circuito [39].

<sup>18</sup>  $I^2C$  por sus siglas en inglés Inter-integrated Circuit o circuito interintegrado es cual es un bus con múltiples maestros, lo que significa que se puede conectar varios chips al mismo bus y que todos ellos pueden actuar como maestro, solo con iniciar la transferencia de datos.

<sup>19</sup> **Sram** o memoria estática de acceso aleatorio



**Figura 3.9** Distribución de los pines DS1307/DS3231 [39].



**Figura 3.10** Configuración típica del circuito DS1307 [39].

### 3.6.2 Características generales del RTC

- El chip DS1307 maneja todas las funciones de reloj-calendario con compensación de año bisiesto.
- Posee una interfaz como la mayoría de los microcontroladores a través de I<sup>2</sup>C.
- Posee una batería de respaldo dentro del módulo.
- Posee resistencias de pull-up y un cristal de programación.
- Trabaja de 4.5 voltios a 5.5 voltios.
- Posee una memoria programable borrable de lectura I<sup>2</sup>C:24c32.

## 3.7 MATLAB

Matlab se la conoce también como Matrix Laboratory (laboratorio de matrices), es un software matemático en un entorno de desarrollo integrado con un lenguaje de programación propio. Matlab es un lenguaje de comandos desarrollado en la década de los 70 por Cleve Moler, la elección de Matlab surgió en esa época por muchos motivos. Unos de eso motivos era que el software de Matlab es un entorno

de cálculo sea muy amigable con los estudiantes y además podría servir después en la vida estudiantil ya que dispone de herramientas específicas denominadas toolboxes, para muchos ámbitos. Matlab se lo podría traducir como un lenguaje completo ya que posee todos los elementos de un lenguaje de programación, como una sintaxis similar a C pero con la simplicidad del BASIC además de ser un lenguaje interpretable, Matlab traduce durante la ejecución las diferentes sentencias al lenguaje primario y básico de la máquina [40].

### **3.7.1 SIMULACIÓN DE SISTEMAS CON SIMULINK EN MATLAB**

Algo muy relevante y además también muy utilizado en el entorno de Matlab, es la automatización del diseño mediante la simulación de sistemas dinámicos como virtual reality, stateflow y simulink, este último es de suma importancia ya que el presente proyecto se realizará sobre este entorno de simulación, a continuación, se los describirá con más detalle [41].

#### **3.7.1.1 Simulink**

Es un entorno de programación, tipo visual que funciona dentro del entorno de propietario de Matlab para simular ambientes dinámicos tales como, son los discretos, analógicos e híbridos, mediante los diagramas de bloques, en el cual se puede trabajar de manera resumida ya que no utiliza líneas código, en vez de eso trabaja con bloques que están de manera predeterminada para muchas funcionalidades y necesidades de los diferentes tipos de proyectos, además si no existiera un bloque en particular se puede crear bloques con códigos dentro de simulink para cumplir con los requisitos necesarios para algún proyecto en específico.

### **3.7.2 LIBRERÍA DE PROGRAMACIÓN EN MATLAB WAIJUNG BLOCKSET**

Waijung Blockset es una librería gratuita para Simulink de Matlab, creada en Tailandia por la compañía Aimagin. Esta librería ha sido diseñada especialmente para soportar toda la familia de microcontroladores STM32F4, cuya programación se basa en códigos de bloques de simulink, haciéndolo fácil de programar toda la

familia de tarjetas STM32F4 existentes en el mercado, en la figura 3.11 se observa los bloques de programación que existe en la librería de simulink.

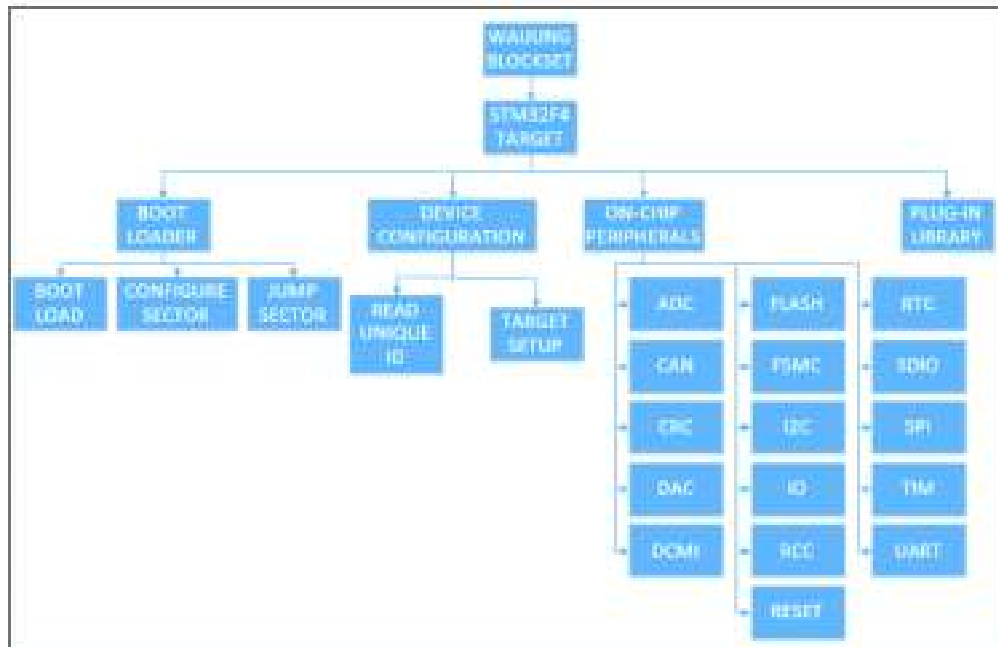


Figura 3.11 Bloques de programación, Librería Waijung [41].

### 3.8 ANDROID STUDIO

Android es un sistema operativo móvil basado en Linux<sup>20</sup>, que junto con aplicaciones middleware<sup>21</sup> está enfocado para ser utilizado en dispositivos móviles como Smartphone, tablets, etc. Es desarrollado por la Open Handset Alliance<sup>2</sup> la cual es liderada por Google [42].

Android surge como resultado de la “Open Handset Alliance” [43] un consorcio de 48 empresas distribuidas por todo el globo terrestre con diferentes intereses en la telefonía móvil y un compromiso de comercializar dispositivos móviles con este

<sup>20</sup> **GNU Linux** su desarrollo es una de los más prominentes de software libre; todo su código fuente puede ser utilizado, modificado y redistribuido por cualquiera bajo términos de la GPL (licencia Pública General)

<sup>21</sup> **Middleware** O lógica de intercambio de información entre aplicaciones es un software que asiste a una aplicación para interactuar o comunicarse con otras aplicaciones, o paquetes de programas, redes, hardware y/o sistemas operativos



sistema operativo. El desarrollo viene avalado fundamentalmente por Google (Tras la compra de Android Inc. En 2005) [42].

### 3.8.1 Características del sistema operativo Android [44]

Para poder hablar de las características del sistema operativo Android se describirá sus componentes principales.

- **Aplicaciones.** - las aplicaciones están escritas en lenguaje de programación java, y estas incluye un cliente de contacto, correo, calendario mapas y otros.
- **Marco de trabajo de aplicaciones.** - Existen aplicaciones base para poder ser usadas como plantillas por los desarrolladores, en la arquitectura es muy común la reutilización de componentes para simplificar el trabajo, las aplicaciones creadas pueden ser utilizadas por los programadores y crear nuevas aplicaciones, además de reutilizar sus capacidades de dichas APIS, este mismo mecanismo permite que los componentes sean remplazados por el usuario.
- **Bibliotecas.** - usa un grupo de bibliotecas de C y C++ utilizadas por varios componentes del sistema, tales como System C Library, bibliotecas de medios, bibliotecas de grafico 3D y SQLite
- **Núcleo Linux.** - la gestión de memoria, gestión de procesos, pila de red seguridad y modelo de controladores depende de Linux para los servicios de base, la estructura de Android está conformada por algunas capas de kernel de Linux, el núcleo actúa como una capa de abstracción entre el hardware y el resto de la pila de software.
- Android depende de Linux para los servicios base del sistema como seguridad, gestión de memoria, gestión de procesos, pila de red y modelo de controladores. El núcleo también actúa como una capa de abstracción

entre el hardware y el resto de la pila de software. La estructura de Android está formada por varias capas: Kernel de Linux,

### 3.8.2 Estructura de un proyecto Android

En el entorno de trabajo de Android studio es necesario instalar eclipse<sup>22</sup> y el SDK<sup>23</sup> para poder trabajar en el mismo, para generar una aplicación es necesario saber cómo está constituida la estructura general de un proyecto, cuando se lo genera por defecto se crean carpetas con nombres predeterminado, esta estructura será común a cualquier aplicación, independientemente de su tamaño y complejidad a continuación se listan algunas carpetas que se utilizan [45].

- Carpeta /src/ .
- Carpeta /res/ .
- Carpeta /gen/ .
- Carpeta /assets/ .
- Fichero AndroidManifest.xml.

### 3.8.3 Breve descripción de las versiones de Android

Antes de poder programar en Android se debe saber cuántas versiones existen hoy en día en el mercado, esto es importante ya que para cada tipo de versión existen diferentes métodos y clases. Generalmente cuando se realiza el lanzamiento de una nueva plataforma, esta debe ser compatible con las versiones anteriores y lo que se hace es adherir nuevas funcionalidades, si fuera del caso de modificar alguna nueva funcionalidad, no se elimina, sino que se etiqueta como obsoleta, pero se puede continuar utilizando.

La primera versión beta del sistema operativo Android fue lanzada en noviembre de 2007, luego se lanzó la versión comercial al siguiente año la cual se la denominó

---

<sup>22</sup> **Eclipse** es un entorno de desarrollo integrado de código abierto

<sup>23</sup> **SDK** conjunto de herramientas que le permite al programador crear aplicaciones

Android 1.0, a partir de su primera aparición comercial hasta abril del 2009 los lanzamientos se realizan en orden alfabético (A,B,C, etc) [45].










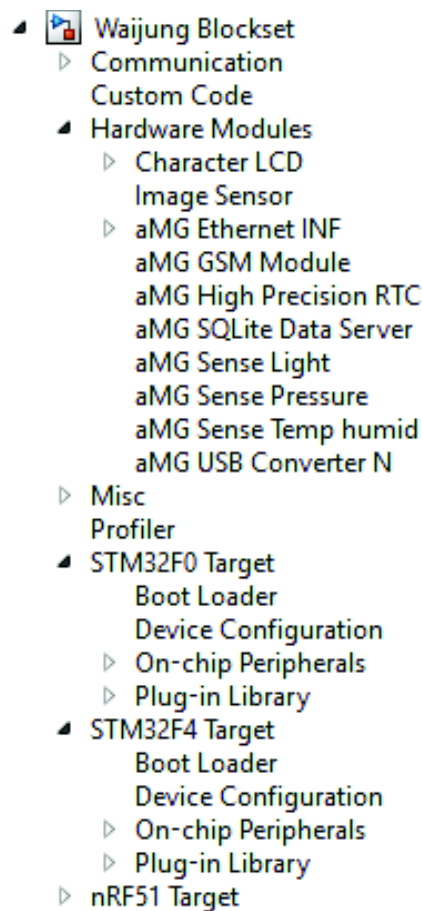
Versión	Nombre de la versión	Fecha de lanzamiento de la distribución	Nivel de API	Logotipo
1.0	Apple Pie	22 de octubre de 2008	1	
1.1	Banana Bread	9 de febrero de 2009	2	
1.5	CupCake	30 de abril de 2009	3	
1.6	Donut	15 de septiembre 2009	4	
2.0	Eclair	26 de octubre de 2009	5	
2.2	Froyo	20 de mayo de 2010	8	
2.3	Gingerbread	9 de febrero de 2011	10	
3.0	Honeycomb	22 de febrero de 2011	11	
4.0	Ice Cream Sandwich	16 de diciembre de 2011	15	
4.1	Jelly Bean	9 de julio de 2012	16	
4.4	Kit Kat	31 de octubre de 2013	19	
5.0	Lollipop	3 de noviembre de 2014	21	
6.0	Mashmallow	23 de octubre de 2015	23	
7.0	Nougat	24 de julio de 2016	24	

Tabla 3.1 Algunas versiones de Android en el transcurso del tiempo

## CAPÍTULO 4

Antes de realizar cualquier trabajo o proyecto de electrónica en la tarjeta stm32 se debe conocer la plataforma de programación que se utilizará, para el presente proyecto se recurrirá al laboratorio de matriz conocido como Matlab específicamente se trabajará con códigos de bloques en Simulink, donde previamente se instalará una librería de bloques llamada *Waijung* la cual se muestra en la figura 4.1 que es exclusiva para programar desde el entorno de Matlab hacia la tarjeta stm32.



**Figura 4.1** Librería de Waijung en Matlab

La figura 4.2 muestra el bloque de waijung *Target Setup* el cual hace posible que el entorno de trabajo en Simulink de Matlab compile cualquier código de bloque.



Waijung: 14.05a  
 Compiler: GNU ARM  
 MCU: STM32F407VG  
 Auto Compile Download: ON  
 Full Chip Erase: OFF  
 Auto run app: ON  
 Execution Profiler: None  
 Base Ts (sec): 0.001

Target Setup

Figura 4.2 Configuración básica de la Target setup

Para poder verificar el correcto funcionamiento de la tarjeta stm32, se realizará un ejemplo muy sencillo, el cual se trata de crear una onda senoidal con códigos de bloques desde el aplicativo de Simulink en Matlab, en la gráfica 4.3 se muestran los bloques que se utilizarán, el objetivo es ejecutar el código de bloque mediante Matlab hacia el microprocesador de la tarjeta stm32 para poder mostrar la información que saldrá por el puerto serial de la misma tarjeta.

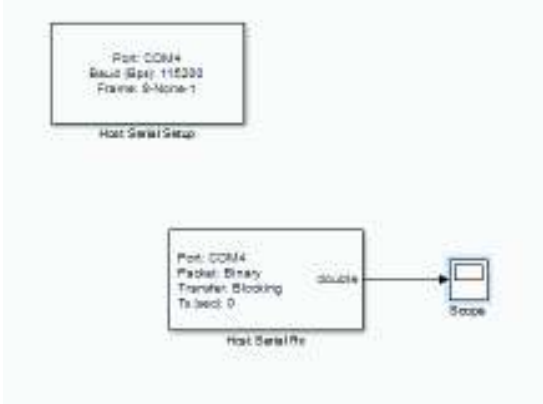
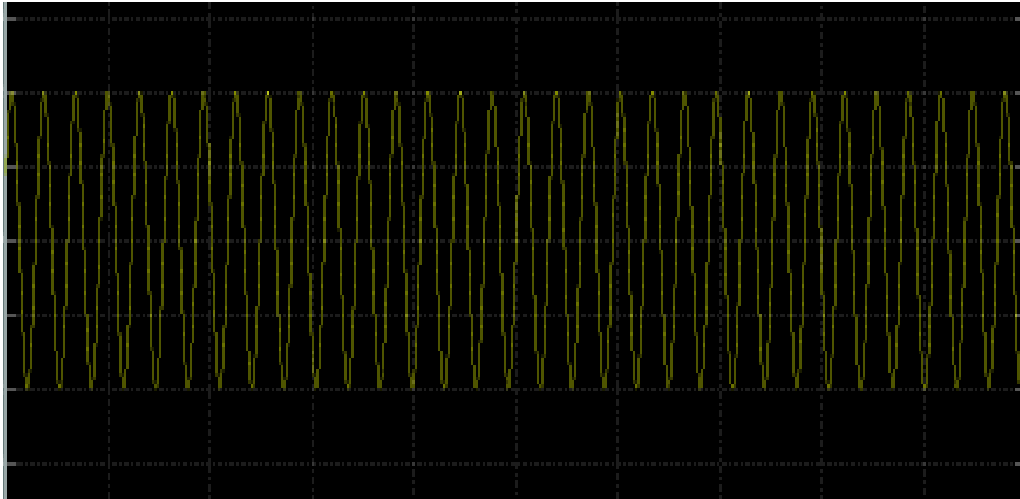


Figura 4.3 Configuración básica para generar una señal senoidal

La onda senoidal tiene amplitud de 4 voltios pico a pico con una velocidad angular de 20 rad/seg y con un periodo de 0.001 segundos, a continuación, se muestra en la figura 4.4

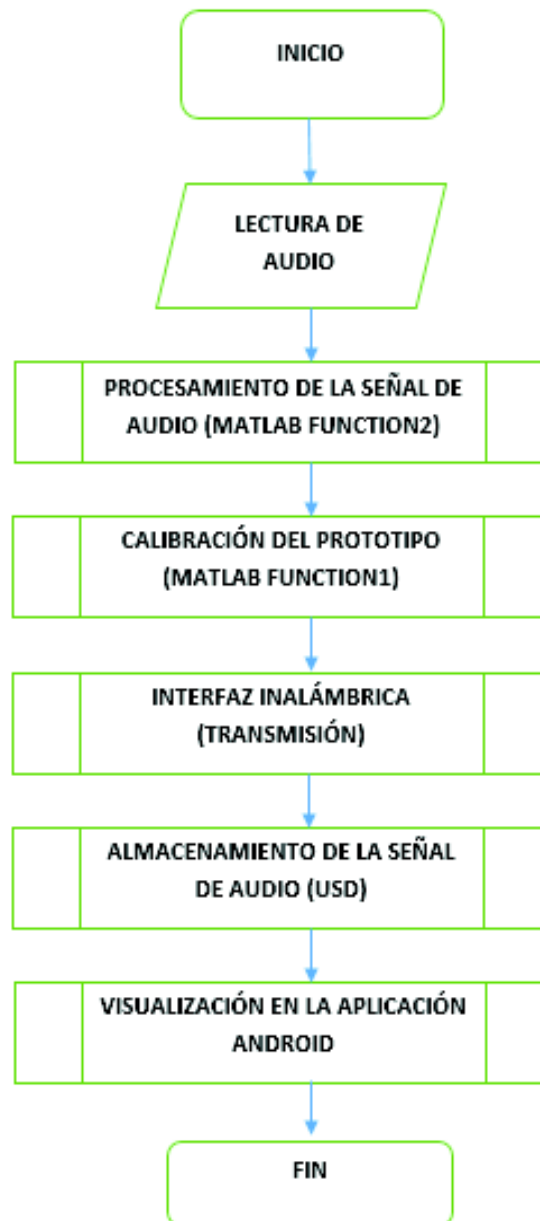


**Figura 4.4** Onda senoidal formada por códigos de bloques en Simulink con waijung

#### **4.1 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE SONÓMETRO EN LA TARJETA STM32**

Para poder realizar el diseño y la implementación del prototipo de sonómetro digital con ponderación de frecuencia A, se realizará dos fases en la primera fase se procesará la información, se la almacenará y se la transmitirá por medio de comunicación inalámbrica bluetooth hacia la pantalla LCD que en este caso es una Tablet Samsung P3100 todo este proceso se lo realizará en el entorno de Simulink de Matlab , en la segunda etapa luego que los datos sean recibidos y procesados mediante una aplicación en Android se presentará esta información en forma de interfaz gráfica donde se observará tres tipos de curvas, la primera curva es la generación de la señal ponderada , la segunda es el espectro de frecuencia y la tercera será la gráfica de ponderación de frecuencia A, aquella se autogenerará y se mantendrá constante para poder entender el comportamiento de la señal de entrada que es este caso es el audio.

Como parte final de la interfaz gráfica se mostrará adicionalmente el valor en decibelios de la señal ya procesada y ponderada, en la figura 4.5 se muestra el esquema general que se utilizará para la programación en simulink y cada uno de sus subprogramas tales como, el procesamiento de la señal, la transmisión inalámbrica el almacenamiento de datos y la calibración del prototipo.



**Figura 4.5** Diagrama de bloques del esquema general en simulink

#### 4.1.1 ADQUISICIÓN DE DATOS POR MEDIO DEL REGULADOR ADC.

La primera fase es una de las más importante, esta realizará la adquisición de datos con el micrófono *FC-109*. La señal de audio analógica es recopilada por el transductor para que más tarde se convierta en una señal eléctrica y pueda ser debidamente procesada por la tarjeta stm32, en la figura 4.6 se muestra el bloque en Simulink.



**Figura 4.6** Bloque de Simulink, convertor analógico digital.

En la figura 4.7 se aprecia la ventana del bloque *ADC module* tiene un número 1, lo cual se deja por defecto ya que se tendrá un solo convertor analógico digital, el cual es el micrófono FC-109. En la parte de Output data Type se tendrá por defecto single, En la parte de *ADC Prescaler* se dejará por defecto 2, y como parte final de la configuración de este bloque vamos a obtener la información del micrófono hacia la tarjeta stm32 en el pin analógico A1.



**Figura 4.7** Configuración del bloque, convertor analógico digital

#### 4.1.2 GANANCIA Y DELAY

En esta etapa se mostrará dos bloques el primero se lo denomina *Tapped Delay* el cual sirve para generar pequeños retardos a la hora de muestrear la señal, que para este caso se lo realizará con 512 retardos, luego de este bloque se tendrá conectado el *Gain* o bloque de ganancia el cual permitirá darle un cierto valor a mi señal para procesarla, para ser más preciso lo que se realizará es la cuantización de las 4095 muestras para ser valoradas en 0 a 1 voltios luego de eso se realizará el muestreo de dicha señal con la transformada de Fourier, en la figura 4.8 se muestra la etapa de estos bloques.



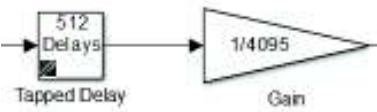


Figura 4.8 Bloques de retardo y ganancia

### 4.1.3 MUESTREO DE LA SEÑAL

En la figura 4.9 se muestra el diagrama de bloques, para poder realizar la ponderación de frecuencia A y calcular la potencia en decibelios, como además el proceso de muestreo de la señal de audio.

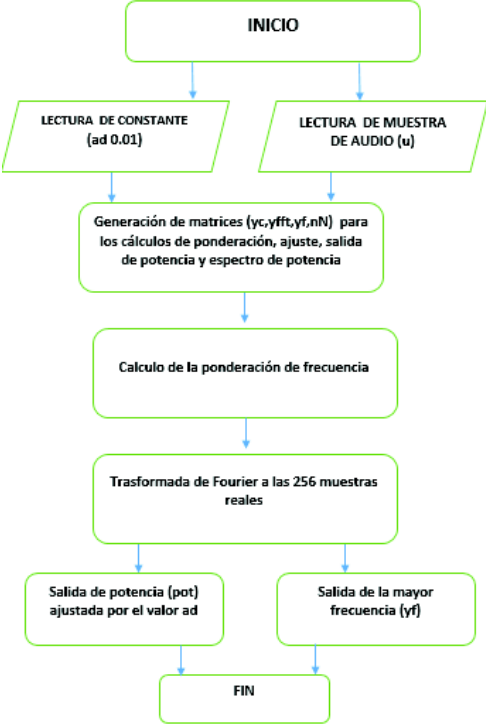
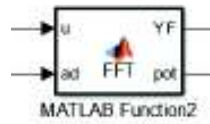


Figura 4.9 Diagrama de bloques del procesamiento de la señal de audio

En esta etapa se realizará el procesamiento de la señal de audio, para lo cual se utilizará el bloque de MATLAB Function2 este se evidencia en la figura 4.10.



**Figura 4.10** Bloque de Matlab Function2

En el código 4.1 se presentará el arreglo de matrices, este será útil para realizar el debido procesamiento de la señal, la constante  $i$  se encuentra en 1 porque será una variable global que servirá para iniciar los contadores necesarios para algunos procesos dentro del programa, la constante  $ns$  es el número de muestras, el  $yfft$  es una arreglo de matriz el cual servirá para almacenar los datos y poder realizar la transformada de Fourier, el  $yf$  es otra matriz que almacenará las 256 muestras positivas y la  $nN$  es otro arreglo de matriz que almacenará las 256 muestras pero este caso ya previamente ponderadas.

```

4 -   if isempty(i)
5 -       i = 1;
6 -       yc = single(zeros(1,512)); %Arreglo de matriz para tomar el total de
7 -                                     %muestras
8 -       ns = 512; %Numeros de muestras
9 -       yfft = single(zeros(1,512)); %Arreglo de matriz de muestras para fft
10 -      yf = single(zeros(1,255)); %Arreglo de matriz de Fourier
11 -      nN = single(zeros(1,255)); %Arreglo de matriz de ponderacion

```

**Código 4.1** Creación de matrices

La segunda etapa dentro del mismo código se realizará el proceso de ponderación de la señal para la cual se utilizará un contador de 0 a 255, por defecto se tendrá una frecuencia inicial (**fi**) que inicializará en 39.0625 Hz este valor se obtiene al dividir el rango de frecuencia donde vamos a trabajar que es de 20000 Hz dividido para el número de muestras que es 512, luego se podrá utilizar la fórmula de ponderación de frecuencia  $A$ , este proceso se aprecia en el código 4.2.

Luego de realizar la ponderación, se ejecutará el proceso de ajuste para que al multiplicar por el factor de corrección que no es más que cuantas veces tengo que multiplicar mi valor ponderado para al final obtener un valor que se ajuste a mi curva de ponderación.

```

12 -     for i=1:1:256 % Contador de 1 a 256
13 -         fi = 99.0625*i; % Va hacer el valor de medición #0000/512
14 -         w = 12200^2*fi^4/((fi^2+20.6^2)*(fi^2+12200^2)*sqrt(fi^2+107.7^2)*sqrt(fi^2+787.9^2));
15 -         a = 2.0 + 20*log10(w); %Ajuste de la ponderación
16 -         nN(i) = 10^(a/10); %Factor de multiplicación a normalizar
17     end
18 end

```

**Código 4.2** Fórmula de ponderación de frecuencia A

En una tercera etapa del código se realizará la transformada de Fourier, para esto se utilizará el valor absoluto del vector (*yc,512*), además se realizará un contador con la longitud de la matriz *yf* que este caso sería con 256 muestras, el proceso descrito anteriormente se muestra en el código 4.3

```

26 -     yfft = abs(fft(yc,512));
27 -     for i=1:length(yf)
28 -         yfft(i+1) = nN(i)*yfft(i+1);
29 -         yf(i) = yfft(i+1)/max(yfft(1,2:256))*116+11;
30     end

```

**Código 4.3** Proceso de transformada de Fourier

A continuación, la última parte del código se crea una matriz *j* esta servirá para poder calibrar el micrófono con un valor constante y obtener la medición en decibelios. El código  $j = 20 \cdot \log_{10}((j)/ad)$ ; viene dado por defecto del fabricante del micrófono para que cumpla con los requerimientos necesarios de funcionamiento donde *ad* es un factor que encontramos experimentalmente probando el micrófono hasta poder obtener resultados que se ajustaron a las necesidades del proyecto, este valor será de 0.01 y el *pot* como se puede observar en el código 4.4 es la salida de potencia en decibelios de la señal de audio, el *YF* es el valor de muestreo del espectro de frecuencia, que en los siguientes subbloques de programación serán utilizados.

```

j=single(0);
yfft(1)=single(0);
for i=1:length(yf)
    j=j+(single(yfft(i+1))-min(yfft));
end

j = 20*log10(j)/ad; % El valor de ad es un valor de ajuste
                    % para el micrófono
YF = yf;
pot = j;

end

```

**Código 4.4** Proceso de ajuste, micrófono del prototipo

#### 4.1.4 REGRESIÓN MATEMÁTICA Y AJUSTE DE PROTOTIPO

Para realizar el proceso de regresión matemática se utilizará el bloque *Matlab function1*, figura 4.11. Dentro del bloque se tendrá un pequeño código, este recoge los valores de los coeficientes de la regresión matemática, los cuales servirán para calibrar el prototipo.

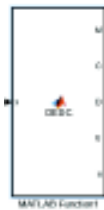


Figura 4.11 Bloque de calibración del prototipo.

En la figura 4.12 se muestra la ventana gráfica de regresión matemática, que se la puede obtener aplicando el código *cftool* en el workspace de Matlab.



Figura 4.12 Regresión matemática por medio de workspace.

Antes de utilizar el comando *cftool* se generará un pequeño script donde se colocan dos matrices con los datos que se obtendrá de las mediciones tanto del prototipo (matriz  $x$ ) como del sonómetro comercial (matriz  $y$ ) código 4.5, luego de eso se ejecuta este pequeño script que más tarde ejecutará el comando *cftool*, donde se generará varias curvas dependiendo la opción que se tome, pero para el análisis del proyecto es mejor generar una curva polinomial de grado tres ya que esta entregará tres coeficientes que después pueda ubicarlos dentro de la secuencias de bloques de simulink y ajustar mi prototipo de sonómetro en función de estos coeficientes.

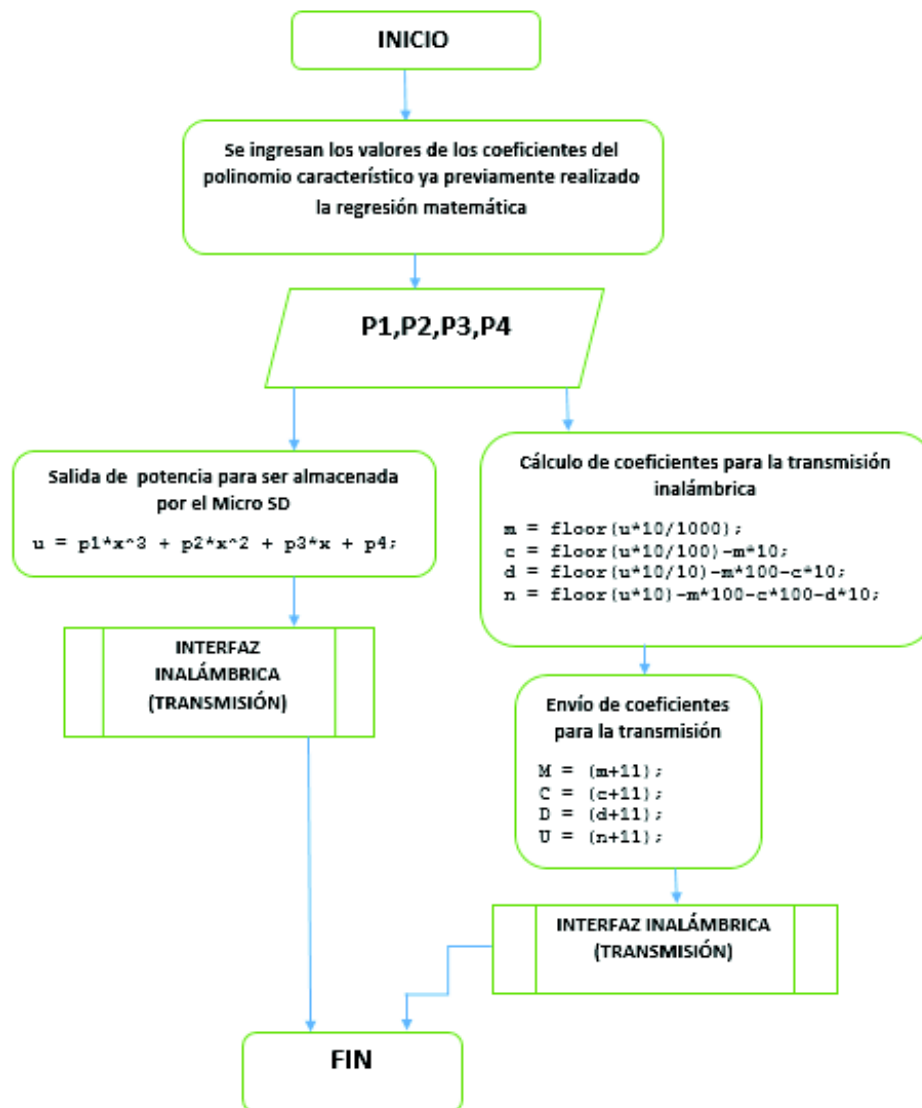
```

x = [48 51 61.4 64.5 67.1]; %Datos del Prototipo
y = [57 63 72 74 77]; %Datos del sonómetro digital
plot (x);
hold on;
plot (y);

```

**Código 4.5** Script de datos recolectados por los sonómetros

A continuación, se muestra en la figura 4.13 el diagrama general para poder calibrar el prototipo en función de las necesidades que se presenten en cada tipo de ambientes de experimentación, como además para poder ajustarse a las mediciones de algún instrumento en particular.



**Figura 4.13** Diagrama de bloques, calibración del prototipo.

El código 4.6 muestra los valores previamente obtenidos en la regresión matemática que se realizó con anterioridad en Matlab, entonces con el código 4.6 se realizará el proceso de ajuste.

```
function [M,C,D,U] = DESC(x)
persistent p1 p2 p3 p4

%Polinomio caracteristico
% f(x) = p1*x^3 + p2*x^2 + p3*x + p4
if isempty(p1)
    p1 = 0.004651;
    p2 = -0.8329;
    p3 = 50.27;
    p4 = -951.6;
end

u = p1*x^3 + p2*x^2 + p3*x + p4;
M = floor(u*10/1000);
C = floor(u*10/100)-M*10;
d = floor(u*10/10)-M*100-C*10;
n = floor(u*10)-M*1000-C*100-d*10;

M = (M+1);%+units(1); %Unidad de mil
C = (C+1);%+units(1); %Centena
D = (d+1);%+units(1); %Decena
U = (n+1);%+units(1); %Unidad

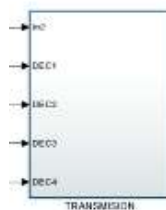
end
```

**Código 4.6** Proceso de ajuste en simulink

En la primera parte del código 4.6 se observa el polinomio característico, que consta de 4 coeficientes (p1, p2, p3, p4), estos coeficientes se los procesa, para realizar el ajuste necesario. El valor  $u$  es la salida de potencia que se utilizará para realizar la calibración en el prototipo y comparar con otro dispositivo de medición, mientras que M,C,D,U son las variables que pasarán a la etapa de transmisión de datos para ser procesadas y luego realizar la transmisión inalámbrica bluetooth.

#### 4.1.5 TRANSMISIÓN DE DATOS

Para realizar la transmisión de datos en Simulink utilizará el bloque de *transmisión*, que se muestra en la *figura 4.14*



**Figura 4.14** Bloque para transmitir datos en Simulink

La parte de configuración de parámetros está compuesta por 255+4 caracteres que en definitiva es 256 datos recolectados de ponderación y la transformada de Fourier, y los otros cuatro caracteres es la medición de decibelios ponderados esta configuración se muestra en la figura 4.15. Todo esto se realizará por medio del bluetooth HC-05. Algo muy importante de recordar que antes que llegue al proceso de transmisión se realizará el proceso de regresión matemática el cual utiliza el bloque *Matlab fuction1*.

Binary header (example: '7E 7E')	'0E'
Binary terminator (example: '03 03')	'0A'
Number of data port, type DOUBLE	0
Number of data port, type SINGLE	0
Number of data port, type INT8	0
Number of data port, type UINT8	1*255+4
Number of data port, type INT16	0
Number of data port, type UINT16	0
Number of data port, type INT32	n

**Figura 4.15** Configuración de parámetros para la transmisión de datos

#### 4.1.6 ALMACENAMIENTO DE LA SEÑAL

La información que se almacena en la microSD por medio del módulo de reloj de tiempo real se presenta en un esquema básico de simulink, en la figura 4.16, este consta de una ganancia de 10 este parámetro que fue estableció en función de las necesidades del prototipo, luego se observa un conversor por donde pasa la *función u* que sale previamente con los ajuste de calibración del bloque *Matlab fuction1* debido a la regresión matemática y en la parte final tenemos el bloque microSD (uSD).

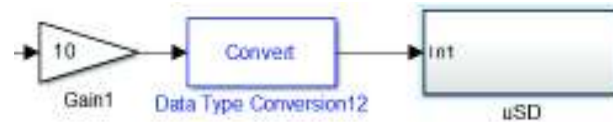


Figura 4.16 Esquema de bloques para el almacenamiento de dato

Al abrir el bloque microSD (uSD) se tendrá el siguiente esquema que se muestra en la figura 4.17, consta de un bloque llamado *Leer*, un bloque *String buffer Processing1* y otro bloque que viene por defecto gracias a la librería de waijung denominado *data logger* que es exclusivo para la microSD.

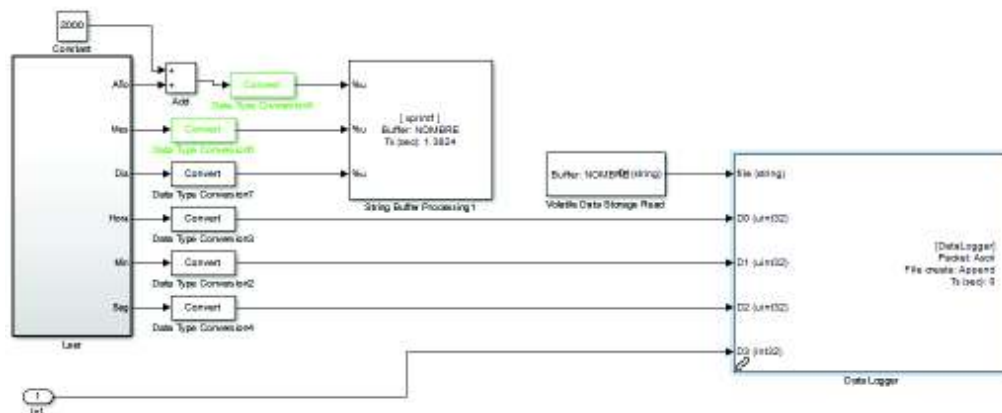


Figura 4.17 Esquema de bloque, almacenamiento de datos.

#### 4.1.6.1 Código de bloque data logger

Al abrir el bloque *data logger*, figura 4.18, se puede observar en la casilla de *variable filename* que está habilitado, y significa nombre de la variable, esta realizará la función de obtener los datos de año, mes y día. Luego en la parte de *Packet mode* se tendrá una configuración de código ASCII y servirá para enviar en una sola línea los datos que serán codificados en un archivo XLS. La expresión *ASCII format* `'%u: %u:%u;%d\r\n'`, representa los horas, minutos y segundos, donde `%u` es un entero positivo y `%d` expresa los decibelios que para este caso el valor puede ser positivo o negativo, al tener esta línea de código se generará el archivo XLS que tendrá dos columnas una donde estará la información de tiempos y la otra donde estará la información de los decibelios de potencia.





**Figura 4.18** Configuración de parámetros, data logger

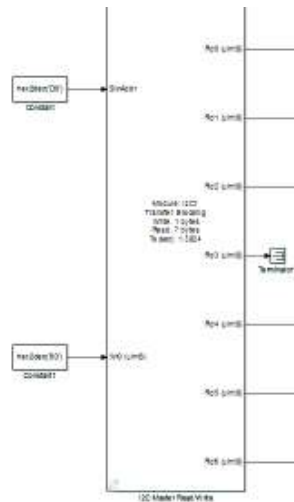
#### 4.1.6.2 Configuración del reloj del tiempo real (RTC)

La figura 4.19 se presenta la ventana para realizar la configuración del reloj en tiempo real (RTC), como se había mencionado anteriormente este módulo funciona con la comunicación I<sup>2</sup>C, en la parte de *I2C module* se coloca 1 por defecto ya que solo vamos a conectar un dispositivo I<sup>2</sup>C que en este caso es el RTC, en la parte de *CLock speed* se tiene de 400 Khz y con tiempo de toma de muestra cada 25 milisegundos. El pin de datos o bus de datos (SDA) estará conectado en el pin B7 y el pin de reloj (SCL) estará en el pin B6 de la tarjeta stm32.



**Figura 4.19** Configuración de los parámetros I2C

Se realizó un subsistema denominado *Leer* donde se encuentra la comunicación I<sup>2</sup>C a continuación, en la figura 4.20 se muestra un subbloque, dentro del subsistema Leer.



**Figura 4.20** Subbloque I2C maestro de escritura y/o lectura.

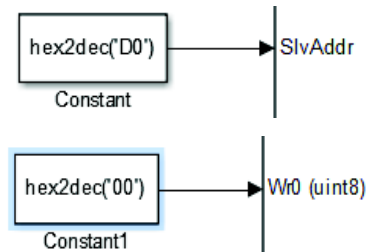
Los parámetros de configuración del bloque *I<sup>2</sup>C Master Read Write* se muestra en la figura 4.21, se tendrá la ventana *I2C module* donde se encuentra puesto el valor de 1 que servirá para leer solo un dispositivo de comunicación I<sup>2</sup>C, en la ventana *Bytes write count* se coloca 1 por que leerá la información en registros de un solo master y en la ventana de *Bytes read count* escribirán 7 registros, ya que este es el número de registros que tendrá año, mes, día, hora, minutos y segundos.

Parameters	
I2C Module	1
Bytes write count	1
Bytes read count	7
Wait write time (ms), default is 0	0
<input type="checkbox"/> Generate STOP before Re-Start for READ	
Sample time (sec)	100*512*T

**Figura 4.21** Parámetros de configuración, I2C de maestro lectura/escritura

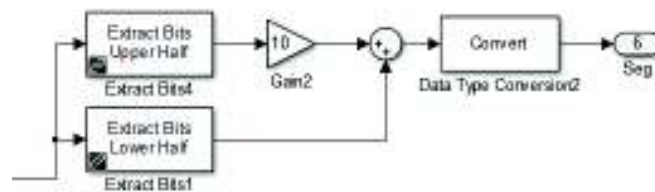
Se establecerá la dirección del esclavo *DO* la cual está por defecto en la ficha técnica del dispositivo del reloj de tiempo real. Aquella dirección se la debe colocar en el master I<sup>2</sup>C de Simulink y además se debe aclarar que el master enviará un bit de escritura para completar la trama de 8 bits con la dirección *00* estas direcciones se muestra en la figura 4.22 del I2C del maestro de lectura/escritura,

de esta manera se asegurará la trama de reconocimiento del dispositivo. El dispositivo que se utilizará para realizar esta tarea será el módulo RTC-DS1307.



**Figura 4.22** Dirección de lectura/escritura.

Se tendrá la etapa de lectura de datos en formato BCD los cuales ingresarán y se procesarán en el reloj de tiempo real, en la figura 4.23 se muestra la etapa de lectura y conversión de datos.



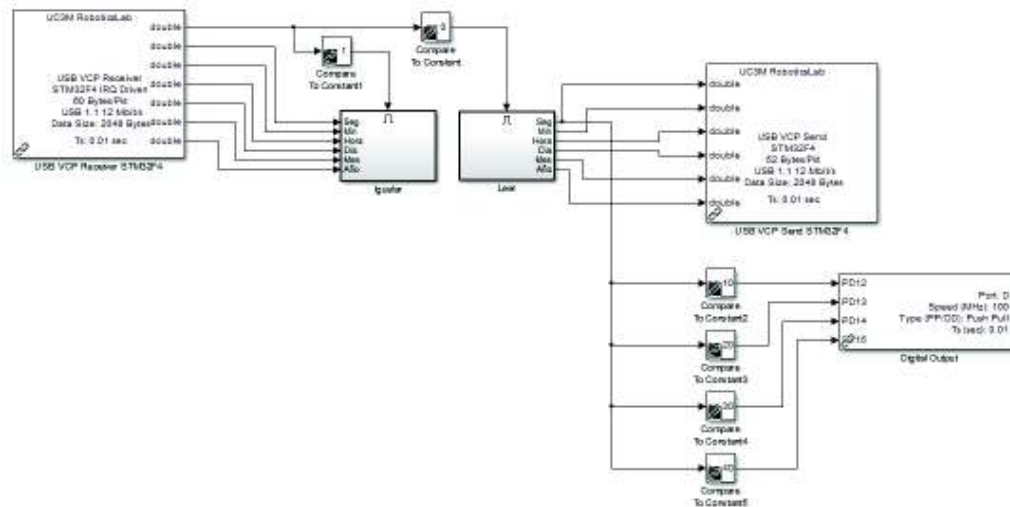
**Figura 4.23** Lectura de datos del reloj de tiempo real

El bloque de *Extract bits Upper Half* está formado por los primeros 4 bits más significativos del byte de información, se leerán estos bits para luego convertirlos en formato BCD, como es la parte más significativa se multiplicará por 10 para tener un número de dos cifras siendo esta la parte de las decenas. Luego en *Extract bits lower Half* es la parte que está formada de igual manera por 4 bits, aquellos son los bits menos significativos que se transformarían en el segundo dígito de la cantidad en este caso será la parte de las unidades, luego de eso tenemos en Simulink un bloque de suma que hará que estos dos bloques se unan para formar el número de dos cifras. Este procedimiento se realizará para los seis casos que son de año, mes, día, hora, minutos y segundos.

#### 4.1.7 Calibración del Reloj en Tiempo Real

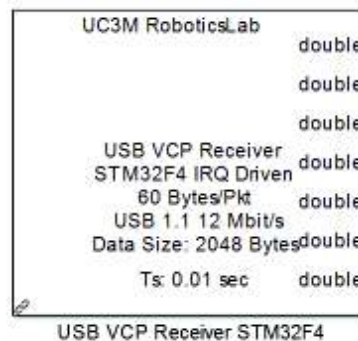
Para realizar la calibración del reloj en tiempo real se utilizará el siguiente diagrama en Simulink el cual se muestra en la figura 4.24 este código en diagrama

permitirá estar preparado para la calibración del RTC, a continuación, se explicará lo que realiza cada bloque, además de los subsistemas que estos poseen.



**Figura 4.24** Esquema de calibración del RTC.

El bloque USB VCP Reciver STM32f4 como en el bloque de Send estos se muestra en la figura 4.25, permite la configuración de parámetros generales para poder leer y depurar la tarjeta, este conjunto de bloques es totalmente exclusivo para el RTC.



**Figura 4.25** Bloque USB VCP Reciver STM32f4 de configuración de tarjeta

En la figura 4.26 se muestran los parámetros a configurar en la tarjeta para luego poder depurar la misma, se tendrá el *USB Speed* que tiene por defecto dos opciones el cual muestra el tipo de usb y la velocidad del mismo en el caso del proyecto de titulación lo realizamos con la opción de 1.1 a una velocidad de 12Mbit/s, luego presenta el *Max Data size* que es la longitud máxima del dato a transmitir y procesar para el caso del proyecto se utilizará 2048 Bytes, se tendrá el *Header* de la trama que por defecto se lo coloca en *0E 0E*, en el *Data to Recive* se tendrá seis valores los cuales son segundos, minutos, horas, así como día, mes y

año los cuales serán tratados como dato tipo doublé, se tendrá además la terminación de la trama con caracteres de 0A 0A y con un tiempo de muestreo de 0.01 segundos



Figura 4.26 Parámetros de configuración de la tarjeta stm32.

En el bloque de igualar existe seis entradas las cuales son segundos, minutos, horas para el caso del tiempo y para el formato de la fecha se tendrá los parámetros de día, mes y año el documento que se generará es parecido a un Excel dentro de él se tendrá el tiempo en una columna y en otra columna los valores en decibelios en la figura 4.27 se aprecia el bloque de código.



Figura 4.27 Bloque de igualación de parámetros para la igualación del reloj.

Dentro del bloque de igualación donde se encuentran todos los parámetros ya anteriormente mencionados se tendrá un subconjunto de pequeños bloques los cuales me permiten la calibración del reloj en tiempo real, en primera instancia se tendrá un hex2dec ('D0'), esta constante será igual para los seis parámetros del registro donde se trabajará y se guardará la información de calibración del RTC,

luego se tendrá el *hex2dec* ('00') este ira cambiado dependiendo a la posición donde se encuentre los registros de segundos, minutos, y horas a los cuales se les asignó los números 00,01 y 02 respectivamente para el caso de día, mes y año se tendrá 04,05 y 06 de igual manera, además tendrá un bloque de Matlab function donde se realizará la conversión de decimal a BCD, y como última parte te tendrá un bloque de I2C Master Read/Write y cual permitirá admitir todos estos cambios anteriormente mencionado, en la figura 4.28 se muestra el esquema general.

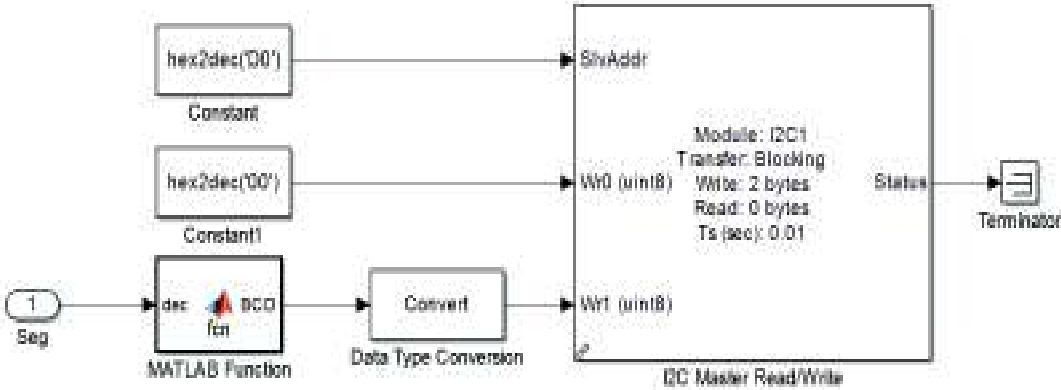


Figura 4.28 Sub bloque de igualación.

**4.1.7.1 Verificación y Visualización del Reloj en Tiempo Reloj.**

Para poder calibrar el reloj en tiempo real una vez que se haya cargado el código de bloque anterior se necesitará igualar tanto la hora como fecha y para poder realizar este cometido, se utilizara el siguiente código que se muestra en la figura 4.29, en la primera parte se observa el *manual switch* cuando está en la posición 0 se podrá modificar tanto la hora y la fecha como se desee, esto se podrá visualizar en los displays de la parte derecha del esquema,.

Luego que se realiza esta modificación se la cargará o se dejará de forma permanente en el RTC, después de esto para poder tener los cambios en forma conjunta se tendrá que cargar nuevamente el programa principal con dichas modificaciones

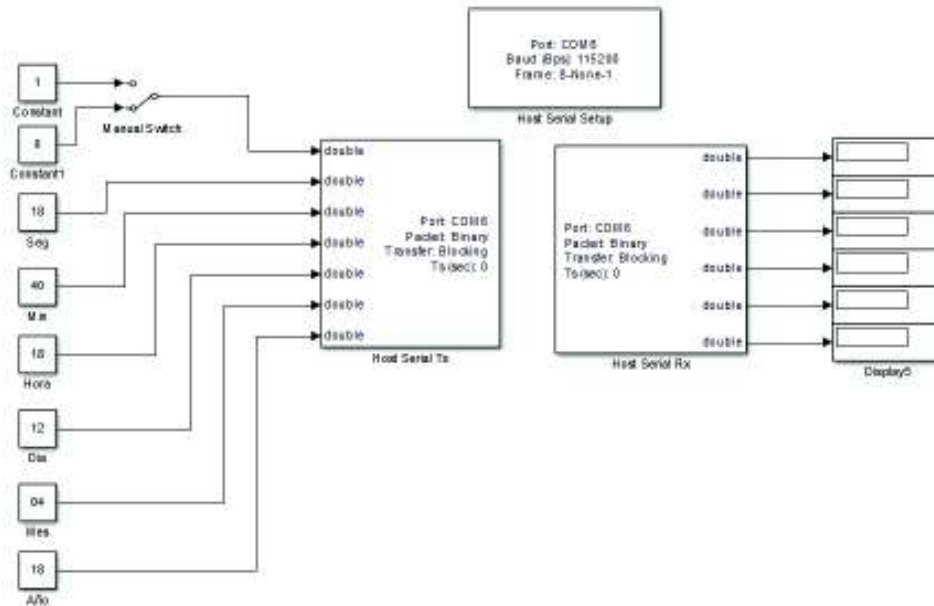


Figura 4.29 Esquema de calibración del RTC.

## 4.2 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN ANDROID.

Se implementará mediante el ambiente de desarrollo de Android studio 2.3, la aplicación visualizará la curva característica de ponderación A, el espectro de frecuencia, la gráfica dinámica de la medición de potencia en decibelios y además la visualización numérica de los decibelios. Algo muy importante de resaltar que al crear un proyecto en Android se divide en tres partes estas son:

- AndroidManifest, se encuentra las configuraciones globales y los nombres de las aplicaciones.
- Java, es donde se encuentra básicamente la parte central del programa el cuerpo del programa.
- Res, se realiza la y se guardan los archivos para realizar la pantalla inicial de la aplicación.

### 4.2.1 ANDROID MANIFEST

La primera etapa de la aplicación de Android es comprender básicamente como estará estructurado dicha aplicación, para eso se analizará el Android Manifest y se explicará detalladamente las líneas de código.

En esta primera etapa se define la copia del archivo en android al tener la clase *allowBackup* como true. En la segunda línea del código nos da el ícono inicial para

poder abrir el aplicativo desde el dispositivo móvil, y en la tercera línea de código hace referencia al nombre del aplicativo esto se observa en la código 4.7.

```
<application
    android:allowBackup="true"
    android:icon="@drawable/ic_launcher"
    android:label="SONOMETRO"
```

**Código 4.7** Parámetros generales de aplicación Android

En el código 4.8 se muestran algunas clases cada una de estas clases esta en orden de procesamiento de nuestro aplicativo android las cuales describeremos a continuacion.

- En la línea de código `android:name=".PonderacionA"` se ejecuta la caratula principal de nuestro aplicativo.
- En la línea de código `android:name=".SettingsActivity"` se ejecuta en primera instancia la curva de ponderacion A la cual estará abierta a la hora de inicializar nuestra aplicación.
- `android:name=".bluetooth.DeviceListActivity"` es la línea de código que ejecuta el proceso de comunicación inalámbrica por medio del módulo de bluetooth entre la tarjeta stm32 y la aplicación de android.
- En la línea de código `android:name=".MainActivity"` se mostrará la gráfica de la curva dinámica de ponderación así como además la medición de potencia en decibelios.

```
<activity
    android:name=".PonderacionA"
    android:label="SONOMETRO">
</activity>
<activity
    android:name=".SettingsActivity"
    android:label="SONOMETRO" />
<activity
    android:name=".bluetooth.DeviceListActivity"
    android:label="Select device"
    />
<activity
    android:name=".MainActivity"
    android:label="SONOMETRO" >
```

**Código 4.8** Esquema principal de aplicación Android



## 4.2.2 DISEÑO DE GRÁFICA EN ANDROID

En el diseño para generar las plantillas de las gráficas se tendrá el eje de las abscisas o eje de las equis, el cual está definido por la primera línea de código denominada *history\_size* que es 10000 Hz y el eje de las ordenadas o eje vertical estará definido en Android por *Max\_pot* que para este caso es 200 y los XYplot son las plantillas de las gráfica ponderada. El espectro de frecuencia y curva de ponderación se muestra en el código 4.9.

```
private static final int HISTORY_SIZE = 10000;    // Ejes de las equis
private static final int MAX_POT = 200;         // Ejes de las y
private XYPlot aprHistoryPlot = null;          // Gráfica de la curva normal
private XYPlot aprHistoryPlotP = null;        // Gráfica espectro de frecuencia
private XYPlot aprHistoryPlotPAE = null;      // Gráfica de la curva constante
```

**Código 4.9** Ejes y plantillas de gráficas

Se muestra en el código 4.10 los objetos que generará para cada una de las gráficas y demás también se crea el objeto para poder visualizar la ponderación de frecuencia numéricamente.

```
double lFFT = 255.0;
XYSeries [] FFTnoP = new XYSeries[1];
Double[][] PFRECNOP = new Double[(int)(lFFT)][4];
XYSeries [] FFTP = new XYSeries[(int)(lFFT)];
Double[][] PFRECP = new Double[(int)(lFFT)][4];
Double[] PONDER_A_F = new Double[(int)(2*lFFT+2)];
XYSeries PONDER_A;
```

**Código 4.10** Creación de objetos gráficos

### 4.2.2.1 Características de las Gráficas

En esta parte del código se observa las características fundamentales tales como nombre de los ejes, así como también el color de la gráfica y las divisiones que deberá tener cada eje, esto se observa en el código 4.11.

```
// setup the AFS History plot:
aprHistoryPlot = (XYPlot) findViewById(R.id.Grafica);
aximuthHistorySeries = new SimpleXYSeries("");
aximuthHistorySeries.useExplicitXVals();
aprHistoryPlot.addSeries(aximuthHistorySeries, new LineAndPointFormatter(Color.rgb(100, 0, 0), 0x000000, 0x000000, null));
aprHistoryPlot.setRangeBoundaries(0, MAX_POT - 50, BoundaryMode.FIXED);
aprHistoryPlot.setDomainBoundaries(0, HISTORY_SIZE / 400, BoundaryMode.FIXED);
aprHistoryPlot.setDomainStepMode(XYStepMode.INCREMENT_BY_VAL);
aprHistoryPlot.setDomainStepValue(HISTORY_SIZE / 400 / 10);
aprHistoryPlot.setRangeStepMode(XYStepMode.INCREMENT_BY_VAL);
aprHistoryPlot.setRangeStepValue((MAX_POT-50) / 5);
aprHistoryPlot.setDomainLabel("Frecuencia [Hz]");
aprHistoryPlot.getDomainLabelWidget().pack();
aprHistoryPlot.setRangeLabel("Potencia [dB]");
aprHistoryPlot.getRangeLabelWidget().pack();
```

**Código 4.11** Características generales de gráficas en Android

En el código 4.12 se creará la gráfica de la curva ponderada como el espectro de frecuencias y en la parte final del código se observa cómo se genera la gráfica de la curva de ponderación de frecuencia A con una frecuencia inicial de 78.1250 Hz manteniendo el mismo esquema que se realizó en Matlab, hay que recordar que la gráfica será constante en la aplicación de Android.

```
for(int j = 0; j<LEFT; j++) {
    FREQCnP[j][0] = HISTORY_SIZE/LEFT * (j + 1); // Eje de las x
    FREQCnP[j][1] = 0.0; // Eje de las y
    FREQCnP[j][2] = HISTORY_SIZE/LEFT * (j + 1); // Eje de las x
    FREQCnP[j][3] = 10.0; // Eje de las y

    FREQCP[j][0] = HISTORY_SIZE/LEFT * (j + 1); // Eje de las x
    FREQCP[j][1] = 0.0; // Eje de las y
    FREQCP[j][2] = HISTORY_SIZE/LEFT * (j + 1); // Eje de las x
    FREQCP[j][3] = 10.0; // Eje de las y

    double fi = 78.1250*j; // Frecuencia Inicial
    PONDRA_P[2*(j+1)] = 78.1250*j;
    double w = Math.pow(12200,2)*Math.pow(fi,4)/((Math.pow(fi,2)+Math.pow(20.6,2))*(Math.pow(fi,2)+Math.pow(12200,2))
    *Math.sqrt(Math.pow(fi, 2) + Math.pow(107.7,2)) * Math.sqrt(Math.pow(fi,2) + Math.pow(787.3,2)));
    double a = 2.0 + 20*Math.log10(w);
    PONDRA_P[2*(j+1)+1] = Math.pow(10,(a/10));
```

**Código 4.12** Generación de los ejes antes de la transmisión inalámbrica

## 4.2.3 COMUNICACIÓN POR BLUETOOTH

Para poder realizar la comunicación inalámbrica por bluetooth se tomará en cuenta la mac address del módulo bluetooth que en este caso es 98:D3:32:20:78.DE, si se cambiará a otro modulo se tendrá cambiar solo la mac en nuestro código de programación esto se muestra en el código 4.13

```
BluetoothDevice device = btAdapter.getRemoteDevice("98:D3:32:20:78:DE");
if (super.isAdapterReady() && (connector == null)) setupConnector(device);
```

**Código 4.13** Configuración de la dirección MAC ADDRESS del Módulo bluetooth

Es muy importante de recordar que en la programación de bloques en Matlab específicamente en el bloque de transmisión de datos se tenía  $1*255+4$ , donde 255 eran los bytes de información y los 4 eran básicamente la información de la medición de los decibelios ponderados, esto es sumamente importante en la parte de recepción de datos dentro del código de programación de Android porque en la parte del código se leerá esta información, para luego ser procesada y visualizada, a continuación se muestra en el código 4.14 este proceso.

```
void appendLog(String message) {
    dataIn = message.getBytes(); //Cada b
    //amp = dataIn[1];
    try {
        if(dataIn.length >= 1*1FFT+2+4){ //Recibe
            LineAndPointFormatter series1Format
            for(int j = 0; j<1FFT; j++) {
```

**Código 4.14** Lectura en la aplicación Android los datos de la tarjeta stm32

La transferencia de datos por bluetooth es relativamente sencilla para el presente proyecto ya que en el entorno de Android studio se utilizará librerías que se encuentran predeterminada, reduciendo la complejidad de la comunicación inalámbrica.

#### 4.2.4 Creación de la Pantalla de Inicio en Android Studio

Se creó una pantalla de presentación para la aplicación en Android, esta pantalla está diseñada exclusivamente en la carpeta RES, dentro de esta carpeta existe una subcarpeta donde se guardan las imágenes que se utilizarán para la pantalla de apertura, adicionalmente se puede realizar de dos formas la creación de esta pantalla de inicio por medio de programación en bloques o también por medio de código. Para el caso del proyecto de titulación se realizó gráficamente, dando como resultado de toda esta actividad, un código generador. A continuación, se muestra en la figura 4.30 el resultado de la pantalla de inicio en Android Studio para el proyecto del sonómetro digital.



Figura 4.30 Pantalla de presentación, aplicación en la Tablet p3100

En el código 4.15 se muestra la configuración del botón que inicia la aplicación, este botón tiene un ancho de 200 pixeles y un alto de 80 pixeles se encuentra centrado y además hace referencia al llamado de una dirección dentro de mi aplicativo para poder ejecutar esta primera pantalla dentro de la aplicación.

```
<Button
    android:layout_width="200dp"
    android:layout_height="80dp"
    android:text="SONÓMETRO"
    android:id="@+id/EMIO"
    android:layout_gravity="center" />
```

Código 4.15 Configuración del botón principal en la aplicación

Luego de presionar el botón se presenta a continuación la segunda pantalla que mostrará la visualización de los datos desde la tarjeta stm32 hacia la Tablet, en la figura 4.31 se puede apreciar dicha pantalla.

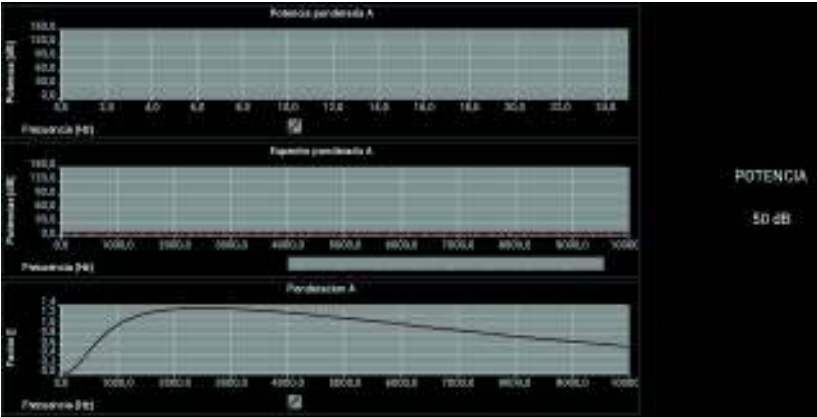


Figura 4.31 Pantalla principal de la aplicación en la Tablet p3100

En la figura 4,32 se muestra el prototipo con sus respectivos periféricos, como son el módulo bluetooth, en reloj en tiempo real (RTC), el micrófono y la tarjeta micro sd.

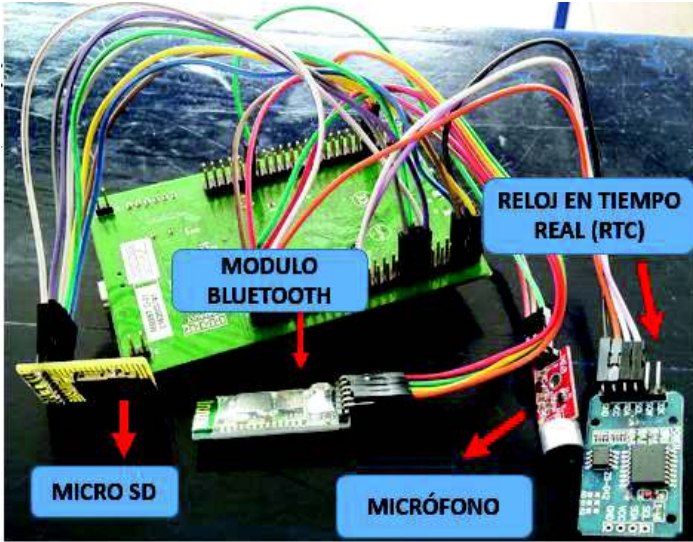


Figura 4.32 Tarjeta de aplicación y periféricos

Cuando se pone en funcionamiento el prototipo comienza a procesar la señal que ingresó previamente al transductor y esta es enviada a través de bluetooth hacia la Tablet donde se visualizará la información ya depurada, esto se puede apreciar en la figura 4.33.

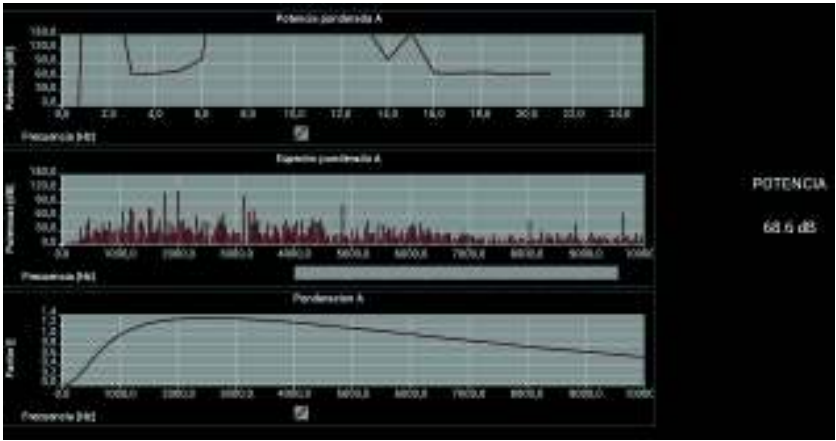


Figura 4.33 Aplicación en Android ejecutándose en la Tablet p3100



**Figura 4.34** Esquema comercial del proyecto

### 4.3 PRESUPUESTO REFERENCIAL DEL PROTOTIPO

En esta sección se realiza un presupuesto referencial de los elementos y recursos necesarios para la instalación y operación del prototipo del sonómetro digital. El resultado de este presupuesto determina el monto de inversión para la implementación del proyecto.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNITARIO [usd]
Stm32	1	\$50,32
Micrófono Fc-109	1	\$19,24
Bluetooth HC-05	1	\$15,23
Reloj en tiempo real DS 3231	1	\$17,56
Módulo de Micro SD	1	\$15
Tarjeta de Micro SD	1	\$10
Caja de proyectos	1	\$15,23
Software de Matlab	1	\$100
Software en Android	1	\$100
Pantalla LCD (Tablet p3100)	1	\$150
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>		<b>\$492,58</b>

**Tabla 4.1** Tabla de cotización del prototipo

En la tabla 4.1 se puede observar el costo del proyecto denominado sonómetro digital que es un valor de \$492,58, este costo incluye elementos de hardware como además la parte del software.

#### **4.4 DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE SONÓMETROS COMERCIALES**

Se realizarán pruebas técnicas para comprobar el correcto funcionamiento del prototipo de sonómetro con tres tipos de sonómetros, dos de los tres sonómetros son de obtención comercial común, mientras que el tercero es un dispositivo de alta gama el cual permitirá tener una comparación con más precisión y exactitud, ya que este se encuentra calibrado y certificado por la Secretaría de Ambiente de la Alcaldía Metropolitana de Quito y posee ciertas funcionalidades extras que aquellos dos sonómetros mencionados anteriormente, se realizará una breve descripción sobre los mismos a continuación.

##### **4.4.1 SONÓMETRO DT-85A**

El sonómetro DT-85A pertenece a la empresa de India CEM INSTRUMENTS el cual proporciona una gama de varios dispositivos de medición, a continuación, se describirá algunas características de este dispositivo, en la figura 4.35 se observa a este instrumento de medición [46].

##### Características

- Rango de frecuencia de trabajo de 31.5 Hz a 8 KHz.
- Nivel de rango de medida de 40 dB a 130 dB.
- Ponderación de frecuencia A.
- Micrófono condensador electret de ½ de pulgada.
- Display LCD, de cuatro dígitos de visualización, resolución de 0.1 dB y actualización de información cada 0.5 segundos.
- Tiempo de ponderación, tipo fast de (125ms).
- Montaje a trípode.

A este dispositivo se lo puede encontrar en el mercado a la venta alrededor de \$38 este valor lo ofrece la Amazon en su página principal.



**Figura 4.35** Sonómetro DT-85<sup>a</sup> [46].

#### 4.4.2 SONÓMETRO EXTECH INSTRUMENTS MODELO 407730

Este tipo de sonómetro, figura 4.36 presenta una particularidad, este es que posee diferentes escalas de medición que van desde 40-70 fonios, 60-90 fonios, 80-110 fonios, 100-130 fonios. Si fuera el caso que el dispositivo de medición no estuviera calibrado se necesitaría un calibrador externo Extech 407744 o el Extech 407766 además de un destornillador pequeño, el procedimiento para la calibración se describe de la siguiente manera, primero se colocaría al dispositivo en una escala de 80 a 110 dB , luego se selecciona la ponderación A en respuesta lenta y como último paso se colocaría el micrófono en el calibrador, se fijaría la salida del calibrador en una onda senoidal de 1 KHz a 94 dB, de esta manera se podrá calibrar el dispositivo para poder realizar las mediciones pertinentes [47].

#### Características

- Precisión de  $\pm 2$  dB con resolución de 0.1 dB.
- Ponderación que maneja es la A y la C.
- Salida analógica CA.
- Registros de valores MAX/MIN sobre el tiempo.
- Posee una función de apagado automático.
- Posee retención de máximos.



- Utilización de micrófono condensador de 12.7 mm (0.5 pulgadas).
- Posee un soporte de trípode.
- La escala de medición es de 40 decibelios a 130 decibelios.
- Posee un tiempo de respuesta lenta como rápida.
- Pantalla LCD de 2000 cuentas o cuatros dígitos.



Figura 4.36 Sonómetro extech instruments modelo 407730 [47].

A continuación, se describirán las diferentes partes que conforman al sonómetro extech instruments modelo 407730 en la figura 4.37.



Figura 4.37 Descripción del medidor [47].

En la figura 4.38, se describe la visualización de datos en la pantalla LCD del dispositivo en mención.

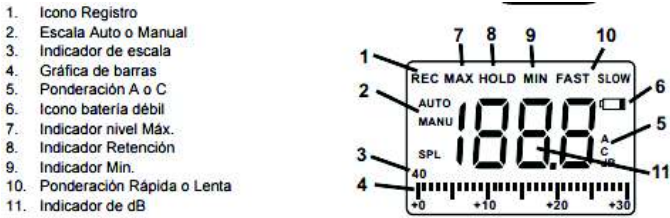


Figura 4.38 Pantalla LCD del sonómetro extech instruments modelo 407730

#### 4.4.3 SONÓMETRO QUEST SOUND PRO SE/DL

El sonómetro que se describirá a continuación se encuentra disponible en la Secretaria de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito. El Sound pro SE/DL medidor de señales de sonido de 3M es un instrumento con características altamente adaptable, a continuación, se explicará de forma más detallada su funcionamiento. Existen actualmente en el mercado doce modelos diferentes, estos se diferencian entre ellos fundamentalmente por tres características en particular, la primera es la precisión de medición, tenemos como segunda la resolución de frecuencia y como tercera el almacenamiento de los datos, en la figura 4.39 se presenta al dispositivo.



**Figura 4.39** Sonómetro Quest Sound [48].

#### Características [48]

- Manejo de algunos lenguajes como chino, inglés, alemán, italiano, japonés, coreano, polaco, portugués, ruso, español, suizo y turco.
- Se describen las normas que posee el equipo de medición EN/IEC 61672-1(2002), ANSI S1.4 (R2006), Requirements: ANSI S1.43(R2007), EN/IEC 61260 (2001), ANSI S1.11 (R2009).
- Utiliza ponderaciones de frecuencia A, C, Z.
- Tiempo de respuesta tipo lento, rápido e impulsiva.
- Rango de medición en condiciones ordinarias de 40 dB a 100 dB.

- Posee memoria de 32 MB hasta 32 GB.
- Posee medición equivalente de 1 a 20 segundos.
- Posee filtros de octavas de 11 bandas desde 16Hz hasta 16KHz.
- Posee tercios de octavas de 33 bandas desde 12.5 hasta 20Khz.

## **4.5 PRUEBAS COMPARATIVAS DEL PROTOTIPO Y LOS SONÓMETROS COMERCIALES.**

### **4.5.1 PRUEBA 1**

Para poder comprobar el correcto funcionamiento y realizar una comparativa de nuestro prototipo se realizarán algunas pruebas en diferentes ambientes, en diferentes condiciones y con algunos sonómetros comerciales, cabe mencionar que se tomará en cuenta de manera especial el sonómetro de la Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, ya que este es homologado y certificado a nivel internacional y posee ciertas características técnicas que aquellos de uso comercial.

Esta prueba se realizará dentro del departamento técnico de investigación de la Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito en un área donde no existe mucho ruido y provee ciertas características acústicas. La medición se la realizará por medio de un generador de señal, el cual creará ciertos tonos en diferentes frecuencias para que luego pase por un amplificador en este caso un parlante que estará conectado al generador de señal, para que después el prototipo y el sonómetro homologado puede tomar las mediciones adecuadas en los diferentes tonos de frecuencias.

Antes de tomar las mediciones se utilizará una herramienta matemática la cual ayudará a saber el error del prototipo con respecto a los demás, en la ecuación 4.1 se muestra la expresión que se utilizará para cuantificar el error relativo, la cual es el dato del dispositivo comercial menos el valor del prototipo, dividido por el valor del dispositivo comercial todo eso en valor absoluto y multiplicado por el cien por ciento.

$$E\% = \left| \frac{\text{Valor teórico} - \text{Valor experimental}}{\text{Valor teórico}} \right| \times 100\% \quad (4.1)$$

A continuación, se presenta en la tabla 4.2 las mediciones del prototipo y el sonómetro Quest Sound Pro Se/dl de la Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, cabe mencionar que esta tabla también incluye el error relativo.

Distancia de micrófono a los parlantes 45 centímetros			
Altura del micrófono sobre el nivel del suelo 25 centímetros			
Curva isofónica de 60			
Frecuencias (Hz)	Prototipo	QUEST SOUND PRO SE/DL	Error relativo (%)
500	72.5	70	3.57
600	72.5	73.4	1.22
700	71.6	70.6	1.41
800	70.7	69.1	2.31
900	69.9	67.7	3.24
1000	72.7	66.8	8.83
2000	70.4	68.2	3.22
3000	95.7	77	24,28
4000	66.6	67.3	1.04
5000	68.2	47	45.10

**Tabla 4.2** Datos de medición del prototipo con el sonómetro Quest

En este caso lo que se realizó fue tomar como referencia la curva de 60 fonios, una vez que los dos dispositivos se colocan en la frecuencia referencial de los 1000 Hz se comienza a realizar las mediciones que van desde los 500 Hz hasta los 5000 Hz.

Las mediciones obtenidas del sonómetro de la Secretaría del Distrito Metropolitano de Quito se las procesarán al igual que las mediciones obtenidas en el prototipo de sonómetro, después se realizará la regresión matemática y se calibrará el prototipo. En la tabla 4,3 se presentan las nuevas mediciones una vez calibrado el prototipo, y emulando en las mismas condiciones.

Distancia de micrófono a los parlantes 45centímetros			
Altura del micrófono sobre el nivel del suelo 25 centímetros			
Curva isofónica de 60			
Frecuencias (Hz)	Prototipo	QUEST SOUND PRO SE/DL	Error relativo (%)
500	71.3	70.6	0.99
600	70.2	73.1	3.96
700	70.0	70.2	0,28
800	69.7	70.5	1.13
900	69.1	68.3	1.17
1000	68.7	67.1	2.38
2000	73.2	68.2	7.33
3000	75.7	78	2.94
4000	64.2	68.3	6
5000	50.2	52	3.46

**Tabla 4.3** Medición de prototipo calibrado

En la tabla 4.3 como se puede observar que el error relativo ha disminuido con respecto a las mediciones anteriores, esto concluye que la calibración es bastante buena con respecto al dispositivo comercial.

#### 4.5.2 PRUEBA 2

Para poder realizar las pruebas comparativa con el prototipo construido y los sonómetros comerciales que se disponen, se necesitará de un generador de señales en el cual manipularemos para poder tener frecuencias de 500Hz, 600Hz, 700 Hz, 1000 Hz ,2000Hz, 3000Hz, 4000Hz, 5000Hz, 6000Hz, luego de generar estas frecuencias el generador de señales, estará conectado a un parlante el cual será el mismo para todas las pruebas con los distintos sonómetros, para cada tono de frecuencia se tomarán las mediciones correspondientes. Las pruebas se las realizó en un estudio de grabación llamado *RAPTO producciones*, el cual nos auspició su centro de grabación para poder realizar dichas mediciones, estas pruebas se las realizó en la cabina de consola, ya que esta presentaba mejores

características acústicas que en la zona de adquisición de sonido o también llamada zona de grabación.

Para poder realizar esta prueba se tomaron en cuenta algunos parámetros los cuales se listan a continuación.

- El observador o los observadores tratar siempre de permanecer en la misma posición para la toma de mediciones de cada uno de los dispositivos.
- El micrófono del prototipo, así como los micrófonos de los sonómetros comerciales deben estar a una misma distancia, ángulo y altura de los parlantes.
- Los parlantes deben estar separado una cierta distancia entre ellos, aquella medida se tomará en cuenta ya que esta es muy importante a la hora de las mediciones y se mantendrá constante en todo el transcurso del proceso de medición.

Antes de realizar el proceso de prueba en el estudio de grabación se tomaron mediciones de la habitación en condiciones normales, las cuales arrojaron resultados muy interesantes en función de cada uno de los sonómetros estos resultados se muestran en la tabla 4.4, Algo muy importante de resaltar es que estas mediciones se las realizó en la parte central de la habitación.

Medición en dB	prototipo	DT-85A	Extech 407730	QUEST SOUND PRO SE/DL
1 <sup>er</sup> Medición en el centro de grabación.	52.5 dB	25,3 dB	49.8 dB	47.6 dB
2 <sup>da</sup> Medición en el centro de grabación.	55.3 dB	26.7 dB	50.2 dB	48.1 dB

**Tabla 4.4** Prueba dentro del centro de grabación

Para poder realizar la segunda etapa del proceso de medición se lo hizo tomando en cuenta la curva de 70 fonios que es la más utilizada, además aquella permitió manejar rangos de amplitud muchos más altos, luego de eso se realizó otra

medición tomando en cuenta la curva 80 fonios, a continuación, se muestra la tabla 4.5 con las respectivas mediciones.

Distancia de los parlantes 15 centímetros				
Distancia de micrófono a los parlantes 45centímetros				
Altura del micrófono sobre el nivel del suelo 10 centímetros				
Curva isofónica de 70				
Frecuencias (Hz)	prototipo	DT-85A	Extech 407730	QUEST SOUND PRO SE/DL
500	70.1	63.4	65.6	70.9
600	69.5	71.2	64.00	70.2
700	69.7	83.1	60.5	69.8
1000	69.9	68.8	60.8	68.7
2000	73.6	25.4	61.00	65.5
3000	75.9	25.6	60.7	66.5
4000	70.4	25.5	66.7	68.9
5000	68.2	25.0	62.7	68.9
6000	68.5	25.2	63.4	70.2

**Tabla 4.5** Comparativa de mediciones de los distintos sonómetros en la curva de 70 fonios

En la tabla 4.6 se puede observar que en algunos de los casos el error es alto, esto se debe básicamente que las mediciones son instantáneas, ósea en un segundo de tiempo, muchas de las veces existen pequeñas señales de ruido que influyen a la hora de tomar la medición y es precisamente ahí cuando ocurren este tipo de equivocación por parte de los dispositivos de medición.

Error DT-85 <sup>a</sup> (%)	Error Extech 407730 (%)	Error QUEST SOUND PRO SE/DL (%)
10,57	6,86	1,13
2,39	8,59	1,00
16,13	15,21	0,14
1,60	14,97	1,75
189,76	20,66	12,37
196,48	25,04	14,14
176,08	5,55	2,18
172,80	8,77	1,02
171,83	8,04	2,42

**Tabla 4.6** Porcentajes de errores en curva de 70 fonios

Distancia de los parlantes 5 centímetros				
Distancia de micrófono a los parlantes 60 centímetros				
Altura del micrófono sobre el nivel del suelo 10 centímetros				
Curva isofónica de 70				
Frecuencias (Hz)	prototipo	DT-85A	Extech 407730	QUEST SOUND PRO SE/DL
500	68.6	62.1	64.2	70.2
600	69.5	69.5	62.00	69.5
700	69.7	79.5	61.1	69.1
1000	70.8	66.2	61.1	68.3
2000	72.4	27.2	60.2	65.5
3000	73.5	24.1	69.2	66.5
4000	69.2	24.8	65.5	69.9
5000	67.7	24.5	61.2	70.9
6000	68.1	24.1	62.8	71.2

**Tabla 4.7** Mediciones con curva de 70 fonios variando distancias

En la tabla 4.8 se puede observar que no existe un porcentaje de error significativo en el equipo QUEST y Extech, mientras en el DT-85 existe un error demasiado alto, esto se debe que este equipo tiene una tolerancia de hasta 55 dB, esto quiere decir que por más altos que sean los tonos de alguna frecuencias siempre arrojará como medida de evaluación los 55 dB, y es por tal motivo que tenemos valores de porcentajes de errores relativamente astronómicos.

Error DT-85 <sup>a</sup> (%)	Error Extech 407730 (%)	Error QUEST SOUND PRO SE/DL (%)
10,47	6,85	2,28
0,00	12,10	0,00
12,33	14,08	0,87
6,95	15,88	3,66
166,18	20,27	10,53
204,98	6,21	10,53
179,03	5,65	1,00
176,33	10,62	4,51
182,57	8,44	4,35

**Tabla 4.8** Porcentaje de error en curva de 70 fonios, variando la distancia



A continuación, se realiza el mismo experimento, pero utilizando una curva isofónica de 80 fonios, esto se aprecia en la tabla 4.9.

Distancia de los parlantes 15 centímetros				
Distancia de micrófono a los parlantes 45 centímetros				
Altura del micrófono sobre el nivel del suelo 10 centímetros				
Curva isofónica de 80				
Frecuencias (Hz)	prototipo	DT-85A	Extech 407730	QUEST SOUND PRO SE/DL
500	80	75.8	47.3	78.5
600	82	78.3	48	79.1
700	62.7	83.1	79.9	79.5
1000	80	77.4	48.3	80.6
2000	85	90.4	49	79.1
3000	93	94	49.6	77.4
4000	90	83.9	49.1	68.9
5000	78.6	55.5	55.5	68.9
6000	78.7	66.1	66.1	79.2

**Tabla 4.9** Comparativa de mediciones de los distintos sonómetros con la curva de 80 fonios

Error DT-85 <sup>a</sup> (%)	Error Extech 407730 (%)	Error QUEST SOUND PRO SE/DL (%)
5,54	69,13	1,91
4,73	70,83	3,67
24,55	21,53	21,13
3,36	65,63	0,74
5,97	73,47	7,46
1,06	87,50	20,16
7,27	83,30	30,62
41,62	41,62	14,08
19,06	19,06	0,63

**Tabla 4.10** Porcentajes de errores en curva de 80 fonios

En la tabla 4.9 se realizó la prueba con el micrófono a 10 centímetros respecto al nivel del suelo, los parlantes se encuentran con respecto al micrófono a 45 centímetros y la distancia de los parlantes entre ellos es de 15 centímetros, se generó tonos desde los 500Hz hasta los 700Hz y de 1000Hz hasta los 6000Hz. En la tabla 4.10 se muestra los errores de los tres sonómetros comerciales con respecto al prototipo de sonómetro, en el DT-85 existe un porcentaje de error muy

alto en las frecuencias altas, mientras que el sonómetros QUEST se muestran porcentaje de error entre 21% a 30% esto se debe a la características propias del instrumento de medición, mientras que en el sonómetro Extech son demasiados altos esto se debe a que su tolerancia es de más 40 dB.

Distancia de los parlantes 5 centímetros				
Distancia de micrófono a los parlantes 60centímetros				
Altura del micrófono sobre el nivel del suelo 10 centímetros				
Curva isofónica de 80				
Frecuencias (Hz)	prototipo	DT-85A	Extech 407730	QUEST SOUND PRO SE/DL
500	81.0	76.4	47.3	78.5
600	81.4	75.1	48.0	79.1
700	79.7	82.7	48.9	79.5
qq1000	81.5	67.7	48.3	80.6
2000	84.3	85.6	49.0	79.1
3000	92.6	88.6	49.6	77.4
4000	89.5	83.2	49.1	68.9
5000	76.3	69.6	55.5	68.9
6000	66.2	68.1	62.8	74.2

**Tabla 4.11** Mediciones con curva de 80 fonios variando distancias

Error DT-85 <sup>a</sup> (%)	Error Extech 407730 (%)	Error QUEST SOUND PRO SE/DL (%)
6,02	71,25	3,18
8,39	69,58	2,91
3,63	62,99	0,25
20,38	68,74	1,12
1,52	72,04	6,57
4,51	86,69	19,64
7,57	82,28	29,90
9,63	37,48	10,74
2,79	5,41	10,78

**Tabla 4.12** Porcentaje de error en curva de 80 fonios, variando la distancia

Una vez obtenido los resultados de las mediciones, se presentan algunas conclusiones muy importantes y es que el prototipo de sonómetro como el

sonómetro de la Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano Quito se ajusta a la curva característica tanto de los de los 70 fonios como a la curva de 80, mientras que el sonómetro Extech 407730 tienen algunos problemas en algunas frecuencias fijas especialmente en el rango de los 2000Hz a 4000Hz.

Luego de obtener estos resultados y tomando en cuenta el sonómetro homologado de la secretaria de ambiente se tomará en consideración estas mediciones para poder realizar una curva de regresión matemática, la cual se realizará en Matlab y estos valores de coeficientes se utilizarán para poder ejecutar el ajuste necesario en nuestro prototipo de medición.

#### 4.5.3 PRUEBA 3

A continuación se presentará la comparación del prototipo con dos sonómetros comerciales y una aplicación de sonómetro en un teléfono Android, estas pruebas se la realizará con la ayuda de un generador de señal, como también en un ambiente normal para saber cómo es el comportamiento de cada uno de estos dispositivos con el propósito de mantener la frecuencia constante en diferentes tipos de ondas, en la tabla 4.13 se presenta el análisis a una frecuencia de 1KHz, algo muy importante de resaltar que el dispositivo Extech-407730 se le tendrá que sumar 40 decibelios ya que este se encuentra con un nivel de presión sonora de 40dB aproximándose, a las medidas de los otros dispositivos, además como se puede apreciar en la comparativa existe una diferencia entre 5 hasta 10 dB, esto se debe a que cada dispositivo es calibrado por diferentes laboratorios y además depende mucho también de la característica de los micrófonos que procesan las diferentes señales de audio que ingresan a cada dispositivo.

Frecuencia (1khz)	Onda Cuadrada	Onda Triangular	Onda Senoidal
DT-85A	106 dB	101,2 dB	91 dB
EXTECH-407730	48 dB	48 dB	49 dB
PROTOTIPO	82 dB	76,2 dB	75,1 dB
APLICACIÓN	89 dB	80 dB	77 dB

**Tabla 4.13** Medición y comparación a 1KHz con diferentes tipos de ondas

Frecuencia (1khz)	Error Onda Cuadrada (%)	Error Onda Triangular (%)	Error Onda Senoidal (%)
DT-85A	22,64	24,70	17,47
EXTECH-407730	70,83	58,75	53,27
PROTOTIPO	0,00	0,00	0,00
APLICACIÓN	7,87	4,75	2,47

**Tabla 4.14** Porcentajes de error a 1KHz con diferentes tipos de ondas

En la tabla 4.15 se presenta el mismo análisis que en la tabla anterior, pero con la diferencia que la frecuencia con la que se trabaja es aproximadamente de 2khz, las mediciones del prototipo se acercan mucho al del aplicativo en el teléfono Android como al dispositivo Extech-407730, mientras que en sonómetro DT-85A se tiene un diferencia grande ya que este sobrepasa los 100 dB como se había comentado anteriormente este depende mucho de las características de cada dispositivo

Frecuencia (2khz)	Onda Cuadrada	Onda Triangular	Onda Senoidal
DT-85A	103.2 dB	102 dB	106.5 dB
EXTECH-407730	48 dB	49 dB	48 dB
PROTOTIPO	84 dB	83 dB	83,9 dB
APLICACIÓN	85 dB	84 dB	90 dB

**Tabla 4.15** Medición y comparación a 2KHz con diferentes tipos de ondas

Frecuencia (2khz)	Error Onda Cuadrada (%)	Error Onda Triangular (%)	Error Onda Senoidal (%)
DT-85A	18,60	18,63	21,22
EXTECH-407730	75,00	69,39	74,79
PROTOTIPO	0,00	0,00	0,00
APLICACIÓN	1,18	1,19	6,78

**Tabla 4.16** Porcentajes de error a 2KHz con diferentes tipos de ondas

En la tabla 4.17 se realizó el análisis con 3kHz de igual manera el dispositivo DT-85A es el único que tiene medidas muy altas en comparación a los otros dos dispositivos.

Frecuencia (2,98khz)	Onda Cuadrada	Onda Triangular	Onda Senoidal
DT-85A	93,3dB	102,9dB	103,1 dB
EXTECH-407730	48 dB	48 ,5dB	48,9dB
PROTOTIPO	81,5dB	91 dB	101,7 dB
APLICACIÓN	82 dB	93 dB	85 dB

**Tabla 4.17** Medición y comparación a 3KHz con diferentes tipos de ondas

Frecuencia (2.98khz)	Error Onda Cuadrada (%)	Error Onda Triangular (%)	Error Onda Senoidal (%)
DT-85A	12,65	11,56	1,36
EXTECH-407730	69,79	87,63	107,98
PROTOTIPO	0,00	0,00	0,00
APLICACIÓN	0,61	2,15	19,65

**Tabla 4.18** Porcentajes de error a 2.98KHz con diferentes tipos de ondas

Como un último análisis se realizó esta prueba también en los 5KHz ya que en la curva de ponderación se puede observar que a frecuencias mayores su comportamiento es casi lineal con la ponderación de frecuencia A, estos valores obtenidos se los puede observar en la tabla 4.19

Frecuencia (5khz)	Onda Cuadrada	Onda Triangular	Onda Senoidal
DT-85A	95dB	92,6dB	92,9 dB
EXTECH-407730	49,3dB	49 dB	49 dB
PROTOTIPO	94,1dB	81 dB	98,9 dB
APLICACIÓN	30 dB	31 dB	44 dB

**Tabla 4.19** Medición y comparación a 5KHz con diferentes tipos de ondas

Frecuencia (5khz)	Error Onda Cuadrada (%)	Error Onda Triangular (%)	Error Onda Senoidal (%)
DT-85A	0,95	12,53	6,46
EXTECH-407730	90,87	65,31	101,84
PROTOTIPO	0,00	0,00	0,00
APLICACIÓN	213,67	161,29	124,77

**Tabla 4.20** Porcentajes de error a 5KHz con diferentes tipos de ondas

## CAPÍTULO 5

### 5.1 CONCLUSIONES

- El prototipo que se diseñó e implementó es el primero desarrollado con la tarjeta stm32, con el objetivo de que a futuro se puede crear una red para cuantificar la cantidad de ruido en ciertos sectores de la ciudad.
- Se escogió para este proyecto de titulación el stm32, ya que, en comparación a otras plataformas, este posee varias ventajas relacionadas a capacidad tecnológica, potencia, rendimiento de energía y precio.
- En la práctica no se puede hablar de hardware completamente libre, ya que algunos componentes son de fabricantes que han patentado dichos elementos y por lo tanto su estudio y distribución están totalmente limitados.
- Para realizar el prototipo uno de los requisitos más importantes fue el tener un micrófono que cumpla con las características necesarias para poder captar la señal de audio sin mucho ruido, al principio se diseñó este micrófono, pero generaba el inconveniente de ruido y se tuvo que cambiar a un transductor comercial que se ajustará a las necesidades de nuestro prototipo.
- Se evaluó al prototipo durante varios días, distintas horas y los más importante en varios ambientes de ruido y los resultados obtenidos son los esperados ya que al compararlo con otros dispositivos comerciales y hasta con sonómetros creado en aplicaciones para teléfonos inteligentes los cuales se los puede descargar de manera gratuita las mediciones de cada uno de ellos se asemejan mucho.
- Para el presente proyecto de titulación el alcance era de visualizar la información en una pantalla LCD conectada directamente a la tarjeta stm32, pero su alcance se pudo extender al realizar una comunicación inalámbrica

por medio de bluetooth hacia una Tablet, la cual me permite visualizar dicha información por medio de una aplicación en Android.

- Al realizar las mediciones en la Secretaria de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito con el sonómetro Quest de 3M y nuestro prototipo, se ignoró en primera instancia las curvas de ponderación de frecuencias ya que se desconocía como se podía evaluar dos sonómetros de forma fidedigna, pero luego de algunos ajustes y revisiones las pruebas se las realizaron en las curvas de 70,80 y 90 fonios que son las más comunes al utilizar un rango de frecuencias audibles y al comparar el sonómetro comercial con el prototipo los resultados obtenidos se asemejaban mucho.
- Para poder calibrar al prototipo con el sonómetro Quest 3M o cualquier otro sonómetro de uso comercial, se utiliza un generador de frecuencias donde se coloca una frecuencia de cierto valor, y se revisan los valores en decibelios de cada uno de los dispositivos en esta caso tanto del prototipo como el sonómetro Quest 3M de la Secretaria de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito se toman dichos valores entre 3 a 7 valores para poder realizar una regresión matemática y calibrar el prototipo.
- Al poder validar y comparar la información con dispositivos comerciales se pudo observar que el prototipo se acerca mucho al valor que cada uno de estos muestran al momento de tomar mediciones de ruido.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- En futuro proyectos se podría explotar al máximo el simulink o cambiar de lenguaje de programación que me permita obtener tiempos de ejecución menores.
- Para otros proyectos a futuros se deberá tomar en cuenta las limitaciones en hardware y equipamiento del laboratorio que se utilizó.
- Para un futuro proyecto se podría considerar en realizar las pruebas en ambientes donde no exista mucha presencia de ruido, como cámaras anecoicas o estudios de grabación profesionales, para probar los distintos instrumentos de medición en ambientes controlados.
- Cuando se implementó el prototipo se consideró el transductor a utilizar, ya que es una parte fundamental para el procesamiento de la señal de audio, y debe poseer características que permitan no tener mucha interferencia a la hora de recolectar o medir el nivel de presión sonora.
- Cada sonómetro posee ciertas características a la hora de ponderar el nivel de presión sonora y es calibrado según normas internacionales, es por tal motivo que al diseñar el prototipo debe calibrarse con un dispositivo de laboratorio ya que este tiene una medición más fidedigna y de características más finas a la hora recolectar los niveles de ruidos.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Reyes H. (2011). Estudio y Plan de Mitigación del Nivel del Ruido Ambiental en la Zona Urbana de la Ciudad de Puyo. [en línea] Disponible en:<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2009/1/236T0064.pdf> [Accesado 10 Ene.2017].
2. Carlos Herrera (2012). Apuntes de Telemática 1.Ecuador.EPN
3. Ventanas al Universo, (2012). Longitud de Onda. [en línea] Disponible en: [http://www.windows2universe.org/physical\\_science/basic\\_tools/wavelength.html&lang=sp](http://www.windows2universe.org/physical_science/basic_tools/wavelength.html&lang=sp) [Accesado 13 Ene.2017].
4. Jaramillo A.M. (2007).Acústica:La Ciencia del Sonido.[en línea] Disponible en:<https://books.google.com.ec/books?id=HMWtf1RT04kC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false> [Accesado 15 Ene.2017].
5. Cuenca I. D. (2001). Tecnología Básica del Sonido 1. Ecuador: EPN.
6. Jiménez M. S. (2013). Apuntes de Comunicación Digital. Ecuador: EPN.
7. INERCO acústica (2012). Tipos de Ruido. [en línea]Disponible en: <http://www.inercoacustica.com/acustipedia/item/239-tipos-de-ruidos> [Accesado 16 Ene.2017].
8. Diputación de Barcelona (2002).Ruido y Salud. [en línea] Disponible: [https://www.diba.cat/c/document\\_library/get\\_file?uuid=72b1d2fd-c5e5-4751-b071-8822dfdfdded&groupId=7294824](https://www.diba.cat/c/document_library/get_file?uuid=72b1d2fd-c5e5-4751-b071-8822dfdfdded&groupId=7294824) [Accesado 17 Ene.2017].
9. Kogan P. Arenas J. P (2004). Eficiencia de la Ponderación “A” desde el Punto de vista de la salud. [en línea] Disponible en: <http://www.sea->

- acustica.es/fileadmin/publicaciones/Guimaraes04\_ID18.pdf [Accesado 19 Ene.2017].
10. Inerco acústica. Niveles de ruido.[en línea] Disponible en: <http://www.inercoacustica.com/acustipedia/item/410-niveles-de-ruido> [Accesado 13 Feb.2017].
  11. Inerco acústica. ¿Qué es el nivel continuo equivalente? ) [en línea] Disponible en: <http://www.inercoacustica.com/acustipedia/item/236-%C2%BFqu%C3%A9-es-el-nivel-continuo-equivalente-leq?> [Accesado 13 de Feb.2017]
  12. Instructivo para la aplicación del D.S.N° 594/99 del Minsal, Título IV, párrafo 3° agentes físicos. [en línea] Disponible en [http://www.ispch.cl/salud\\_ocup/doc/INSTRUCTIVO\\_594.pdf](http://www.ispch.cl/salud_ocup/doc/INSTRUCTIVO_594.pdf) [Accesado 10 Ene.2017].
  13. Casado M. E.(2007).Redes de Ponderación Acústica [en línea] Disponible en:<http://mecg.es/archivos/Redes%20de%20ponderaci%C3%B3n%20ac%203%20Bastica.pdf> [Accesado 17 Ene.2017].
  14. Harris, C (1991). Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido. Estados unidos: Google books.
  15. Domingo R.B.(2013).Acústica Medioambiental. Vol.1.[en línea] Disponible en:<http://site.ebrary.com/bvirtual.epn.edu.ec/lib/epnsp/detail.action?docID=10758065&p00=acustica> [Accesado 18 Ene.2017].
  16. Dr. Ruiz D. P. (2003). Comentarios sobre los distintos tipos de sonómetros, sus especificaciones técnicas y uso. [en línea] Disponible en: <http://editorial.dca.ulpgc.es/ftp/icaro/Anexos/5%20OBJETIVOS+/Recomendaciones/GRuido/2003%20Tipos%20de%20son%20F3metros+especificaciones-DP.Ruiz.pdf> [Accesado 25 Ene.2017].

17. Noisemeters Inc. Fast, slow or impulse. [en línea] Disponible: <http://www.noisemeters.com/help/faq/timeweighting.asp> [Accesado 19 Ene.2017].
18. Manual para radialista analfatécnicos. [en línea] Disponible: <http://www.analfatecnicos.net/pregunta.php?id=34> [Accesado 29 Ene.2017].
19. Inen, Norma Técnica Ecuatoriana NTEINEN-ISO 3740.[en línea] Disponible:[http://www.normalizacion.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2014/NORMAS\\_2014/GAN/08092014/nte\\_inen\\_iso\\_3740extracto.pdf](http://www.normalizacion.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2014/NORMAS_2014/GAN/08092014/nte_inen_iso_3740extracto.pdf) [Accesado 30 Ene.2017].
20. Inen, Norma técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 3822. [en línea] Disponible:[http://www.normalizacion.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2014/EXTRACTO\\_2014/KCA/nte\\_inen\\_iso\\_3822-1extracto.pdf](http://www.normalizacion.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2014/EXTRACTO_2014/KCA/nte_inen_iso_3822-1extracto.pdf) [Accesado 30 Ene.2017].
21. Möser M. Barros J.L (2009). Ingeniería Acústica. [en línea] Disponible en:<https://books.google.com.ec/books?id=NQBEEAAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false> [Accesado 10 Feb.2017].
22. Duiops (2009). Curvas de Fletcher Munson. [en línea] Disponible en: <http://www.duiops.net/hifi/enciclopedia/curvas-fletcher-munson.htm> [Accesado 12 Feb.2017].
23. Kogan P. Arenas J. P (2004). Eficiencia de la Ponderación “A” desde el Punto de vista de la salud. [en línea] Disponible: [http://www.sea-acustica.es/fileadmin/publicaciones/Guimaraes04\\_ID18.pdf](http://www.sea-acustica.es/fileadmin/publicaciones/Guimaraes04_ID18.pdf) [Accesado 11 Feb.2017].
24. Tontechnik-Rechner-sengpielaudio. Sound measuring (noise measuring).[en línea] Disponible en:

<http://www.sengpielaudio.com/BerechnungDerBewertungsfilter.pdf> [Accesado 11 Feb.2017].

25. Inerco acústica. Frecuencia y ponderación de escala en frecuencia. [en línea] Disponible en:<http://www.inercoacustica.com/acustipedia/item/411-frecuencia-y-ponderaci%C3%B3n-de-escala-de-frecuencias>. [Accesado 13 Feb.2017].
26. Alan V. Alan. (2000). Señales y Sistemas, USA: Prentice Hall.
27. Secretaria de ambiente, Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. Gestión sobre ruido ambiental, Ecuador: Secretaria de Ambiente.
28. ST-life .augmented (2017). Tools and software [en línea] Disponible: [http://www.st.com/content/st\\_com/en.html](http://www.st.com/content/st_com/en.html) [Accesado 2 May.2017]
29. Datasheetcafe (2016).KY-038 pdf Arduino -Microphone Sound Sensor. [en línea] Disponible en: <http://www.datasheetcafe.com/ky-038-pdf-arduino/>[Accesado 2 May.2017]
30. Electropit (2015) .FC-109 (Max9812) módulo de micrófono amplificador [en línea] Disponible: <http://electropit.com/index.php/2015/12/20/fc-109-max9812-microphone-amplifier-module/>[Accesado 5 May.2017].
31. Ficha técnica (2012). Funcionamiento del bluetooth HC-05[en línea] Disponible en:<https://eva.fing.edu.uy/file.php/585/materiales/HD/CZN-15E.pdf> [Accesado 5 May.2017]
32. Llamas L. (2016) . Medir sonido con arduino y micrófono amplificador max 9812 [en línea] Disponible en:<https://www.luisllamas.es/medir-sonido-con-arduino-y-microfono-amplificado-max9812> [Accesado 6 May.2017]

- 33.** Dinastia tecnológica (2012).Convertidor serial USB a TTL-UART. [en línea] Disponible en: <http://dinastiatecnologica.com/producto/convertidor-serial-usb-a-ttl-uart-cp2102/>[ Accesado 7 May.2017]
- 34.** Geek Factory (2014).Bluetooth HC-05 y HC-06 tutorial de configuración. [en línea] Disponible en: <http://www.geekfactory.mx/tutoriales/bluetooth-hc-05-y-hc-06-tutorial-de-configuracion/>[ Accesado 2 May.2017].
- 35.** Álvarez I.(2015).Desarrollo experimental del multiplexor Bluetooth para dos dispositivos iguales. [en línea] Disponible en: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/39373/1/alvarezramirezilse.pdf> [Accesado 7 May.2017].
- 36.** Labiod H. (2008).Bluetooth, Zigbee and Wimax,USA, Springer Verlag [Accesado 8 May.2017].
- 37.** Naylamp mechatronics. Configuración del módulo bluetooth HC-05 usando comandos AT. [en línea] Disponible en: [http://www.naylampmechatronics.com/blog/24\\_configuracion-del-modulo-bluetooth-hc-05-usa.html](http://www.naylampmechatronics.com/blog/24_configuracion-del-modulo-bluetooth-hc-05-usa.html) [Accesado 8 May.2017].
- 38.** Electrónicos Caldas (2007).HC-05. [en línea] Disponible en: <http://www.electronicoscaldas.com/modulos-rf/452-modulo-bluetooth-hc-05.html> [Accesado 12 May.2017].
- 39.** Electrónica Practica Aplicada (2010). [en línea] Disponible en: <http://www.diarioelectronicohoy.com/blog/reloj-con-el-ds1307> [Accesado 13 May.2017].
- 40.** Iglesias A.,Bravo J.,Pire A.(2014).Curso básico de programación en Matlab:USA;Tebar [Accesado 13 May.2017].

41. Matlab y sus aplicaciones en las ciencias y la Ingeniería, USA: Prentice hall [Accesado 12 May.2017].
42. García P.L, (2011) Aplicación Android para Supermercados, Tesis de Titulación en Ingeniería Informática Técnica de Gestión, Facultad de Informática de Barcelona, Barcelona-España. [Accesado 12 May.2017].
43. Open Handset Alliance (2014) en [línea] Disponible en: <http://www.openhandsetalliance.com> [Accesado 12 May.2017].
44. Android Studio.(2005).Conoce Android Studio. [en línea] Disponible en: [https://developer.android.com/studio/intro/index.html?hl=es-419#sistema\\_de\\_compilacion\\_de\\_gradle](https://developer.android.com/studio/intro/index.html?hl=es-419#sistema_de_compilacion_de_gradle) [Accesado 15 May.2017].
45. Lido I (2011). Aplicación de Android de movilidad de invidentes, tesis de Titulación en Ingeniera Técnica de Telecomunicación, Especialidad Telemática, Barcelona, España.
46. Manual de usuario. Medidor digital de nivel de sonido [en línea] Disponible en:[http://www.viaindustrial.com/manuales\\_pdf/Sonometro\\_digital\\_Decibelimetro\\_tipo\\_II\\_DT-805\\_CEM\\_Manual\\_Espa%C3%B1ol.pdf](http://www.viaindustrial.com/manuales_pdf/Sonometro_digital_Decibelimetro_tipo_II_DT-805_CEM_Manual_Espa%C3%B1ol.pdf).
47. Medidor digital de nivel de sonido con grabadora integral de datos. [en línea] Disponible en: [http://www.extech.com/resources/HD600\\_UMsp.pdf](http://www.extech.com/resources/HD600_UMsp.pdf)
48. Series SoundPro SE/DL. [en línea] Disponible en: <http://www.pce-iberica.es/manuales/manual-soundpro-se-dl.pdf>

**ANEXOS**

**ANEXO I:** BLUETOOTH HC-05 (repositorio digital).

**ANEXO II:** CÓDIGO DE CALIBRACIÓN DE RELOJ DE TIEMPO REAL (repositorio digital).

**ANEXO III:** CÓDIGO DE REGRESIÓN (repositorio digital).

**ANEXO IV:** CÓDIGO FINAL DE APLICACIÓN ANDROID (repositorio digital).

**ANEXO V:** CÓDIGO FINAL MATLAB (repositorio digital).

**ANEXO VI:** MODULO USB TTL CP2102 (repositorio digital).

**ANEXO VII:** SENSOR DE SONIDO KY-038

**ANEXO VIII:** SONÓMETRO 3M (repositorio digital).

**ANEXO IX:** SONÓMETRO DT-85A

**ANEXO X:** SONÓMETRO EXTECH INSTRUMENTS MODELO 407730 (repositorio digital).

**ANEXO XI:** STM32F407DISCOVERY





